



***DETECÇÃO REMOTA NO DIAGNÓSTICO DA
GESTÃO FLORESTAL DA AMAZÓNIA
MATO-GROSSENSE***

Herbert Dittmar

Dissertação apresentada como requisito parcial para obtenção do
grau de Mestre em Ciência e Sistemas de Informação Geográfica

Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação
da Universidade Nova de Lisboa

DETECÇÃO REMOTA NO DIAGNÓSTICO DA GESTÃO FLORESTAL DA AMAZÓNIA MATO-GROSSENSE

Dissertação orientada por:

Professor Doutor Mario Silvio Rochinha de Andrade Caetano

Novembro de 2012

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Doutor Mario Silvio Rochinha de Andrade Caetano, por ter aceitado ser meu orientador, ter acompanhado e revisado este estudo e pelas críticas que só fizeram engrandecer este trabalho.

Ao amigo Perazzoni, protetor do planeta Terra, grande incentivador e companheiro das horas difíceis, tanto nos estudos quanto no trabalho.

Ao amigo Glaucio “Tchumano” conterrâneo aquidauanense, parceiro de “rocha” das jornadas na Floresta Amazónica Mato-Grossense.

Ao amigo Wilson, mais um guerreiro no combate aos crimes ambientais.

Ao amigo Gustavo (Gibão), Crocodilo Dundee da Amazônia.

Ao amigo Marcus Fábio que passou conhecimentos importantes sempre com bom humor e sabedoria.

Ao amigo Bruno (Novinho), irmão batalhador.

Aos amigos Claudio, Hailton, Wladimir e Everardo, do clã dos batateiros.

Aos amigos da DMAPH: Wellington, Renato, Demian, Luis Claudio e Ellon.

Aos amigos Antonio Neto, Laura, Walter, Idoriel, Takashi, Andro, Leonardo Gatto, Walvernack, João Luís, Carlos (Major), Eulaine, Lucila e Dalva.

A querida tia Paula, tio Daimo, tia Zuila, ao meu irmão Edinho, minha cunhada Mairla, ao Keko, Olícia, Luciana, Luciene, Gislaine e Beto.

Aos meus queridos pais (Julio e Juraci) que com muitas dificuldades me permitiram alcançar a maior parte dos meus sonhos.

A minha sogra Ana detentora de grande sabedoria.

Aos meus filhos Daniel e Fernnando que me fazem nunca desistir e que ainda me fazem ter grandes objectivos na vida e a minha nora Lilian pela doçura.

E a minha querida esposa Simone que há muito me acompanha na estrada da vida.

DETECÇÃO REMOTA NO DIAGNÓSTICO DA GESTÃO FLORESTAL DA AMAZÓNIA MATO-GROSSENSE

RESUMO

O alto valor alcançado pelas madeiras nativas brasileiras na última década fez com que a Amazônia Brasileira se tornasse alvo de exploração madeireira legal e, principalmente ilegal. No bojo desta ilegalidade encontram-se como atores parte da indústria madeireira, engenheiros florestais responsáveis pela elaboração de inventários florestais fraudados, funcionários públicos dos órgãos de gestão ambiental que realizam vistorias fictícias e os detentores de planos de manejo e planos de exploração florestal que corrompem esses funcionários públicos.

A fim de conter este avanço de exploração florestal ilegal, que actualmente se concentra no corte seletivo da floresta, com o intuito de dificultar a detecção pelos sensores remotos, os órgãos fiscalizadores como o IBAMA e o ICMBio, os ligados à ciência e tecnologia como o INPE e o Imazon, e os de repressão como a Polícia Federal, necessitam de trabalhar com metodologias de respostas rápidas e de relativa facilidade de operação para que tais crimes sejam rapidamente elucidados e punidos.

Com o objectivo de demonstrar uma metodologia capaz de detectar corte seletivo da Floresta Amazónica, este trabalho utilizou limiares de alteração em imagens diferença NDVI, de zonas dos municípios de Juína e Cotriguaçu, no Estado de Mato Grosso, auxiliado com pontos de interesse coletados como verdade no terreno.

Após a validação dos resultados com a Matriz de Confusão, os resultados obtidos foram bastante significativos.

REMOTE DETECTION IN FOREST MANAGEMENT DIAGNOSIS OF MATO GROSSO'S AMAZON

ABSTRACT

The high value reached by the Brazilian native woods in the last decade led the Brazilian Amazon to be a target of legal, and most part of, illegal logging. In the midst of this illegality are part of the timber industry, forest engineers that prepare rigged forest inventories, public servants of the environmental management organs which make fictitious surveys and the holders of forest management and lumbering plans that corrupt these public servants.

To hold down the illegal lumbering, currently concentrated in the forest selective logging, and to hinder the remote sensor detectors, supervisory organs such as IBAMA and ICMBio, others linked to the science and technology as INPE and Imazon, and repressors like Federal Police, need to work with fast response and relative ease methodologies for such crimes be punished and quickly elucidated.

In order to show a methodology capable to detect the selective logging in Amazon Forest, this project used changed NDVI difference images thresholds from Juína and Cotriguaçu, Mato Grosso, supported with waypoints collected as ground truth.

After results validation by the Confusion Matrix, the outcomes were highly significant.

PALAVRAS-CHAVE

Floresta Amazónica

Gestão Florestal

Detecção Remota

Corte Seletivo

NDVI

KEYWORDS

Amazon Forest

Forest Management

Remote Sensing

Selective Logging

NDVI

ACRÓNIMOS

ABC – Agência Brasileira de Cooperação

ANA – Agência Nacional de Águas

APP – Zona de Preservação Permanente

AUTEX – Autorização para Exploração Florestal

CCIR – Certidão de Cadastro do Imóvel Rural

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente

DAF – Distribuição Angular das Folhas

DAP – Diâmetro à Altura do Peito

DEGRAD - Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira

DIREF – Directoria de Florestas

DMC – Diâmetro Mínimo de Corte

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária

FIEMT – Federação das Indústrias do Estado de Mato Grosso

FUNAI – Fundação Nacional do Índio

GPS - *Global Positioning System*

IAF – Índice de Zona Foliar

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

ICMBio – Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade

IFOV – *Instantaneous Field of View* ou Campo de Visada Instantânea

IMAZON – Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia

INCRA – Instituto Nacional de Reforma Agrária

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

IRS - *Indian Remote Sensing Satellite*

ISEGI – UNL - Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação – Universidade Nova de Lisboa

JICA - *Japan International Cooperation Agency*

ND – Números Digitais

NDVI - *Normalized Difference Vegetation Index ou Índice de Vegetação de Diferença Normalizada*

NIR – *Near-Infrared*

PEF – Plano de Exploração Florestal

PIB – Produto Interno Bruto

PIX – Parque Indígena do Xingu

PMFS – Plano de Manejo Florestal Sustentável

RGB – *Red-Green-Blue*

RMSE – *Root Mean Square Error* ou Erro Médio Quadrático

SEMA/MT - Secretaria de Estado de Meio Ambiente de Mato Grosso

SIG – Sistemas de Informações Geográficas

SISFLORA – Sistema de Comercialização e Transporte de Produtos Florestais

TM – *Thematic Mapper*

UMC – Unidade Mínima Cartográfica

UPA – Unidade de Produção Anual

ZSEE/MT – Zoneamento Socioeconómico Ecológico do Estado de Mato Grosso

Índice do Texto

AGRADECIMENTOS	iii
RESUMO	iv
ABSTRACT	v
PALAVRAS-CHAVE	vi
KEYWORDS	vi
ACRÓNIMOS	vii
ÍNDICE DE TABELAS	xii
ÍNDICE DE FIGURAS	xii
1. INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento	1
1.2 Objectivos	2
1.3 Exploração Madeireira	4
1.4 Detecção Remota	5
2. FRAUDES E FALHAS NA GESTÃO FLORESTAL DA AMAZÓNIA	10
2.1 Panorama actual	10
2.2 Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS)	12
2.3 Ferramentas disponíveis	14
2.4 Regularização Fundiária	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
3.1 Reflectância de Objectos Terrestres	17
3.2 Reflectância da Vegetação	19
3.3 Reflectância do Solo	21
3.4 Classificação de Imagens de Satélite	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	24
4.1 Região de Estudo	24
4.2 Coleta de Dados de Campo	27
4.3 Análise multitemporal das Imagens Landsat-5/TM utilizadas	32
4.4 Georreferenciamento das Imagens Landsat-5/TM utilizadas	34
4.5 Índices de Vegetação	35
4.6 NDVI	37
4.7 Georreferenciamento das Imagens NDVI	42

4.8	Subtracção de Imagens NDVI	42
4.9	Recortes das Imagens Diferença NDVI	44
4.1	Presença de Cipós	47
4.11	Limiares para detecção de alterações	50
4.12	Métodos automáticos de classificação	52
4.13	Matriz de Confusão.....	52
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	53
5.1	NDVI dos Talhões em estudo	53
5.2	Análise dos Recortes das Imagens Diferença NDVI.....	56
5.3	Aplicação dos Limiares de Alteração	61
5.3	Aplicação dos Limiares de Alteração	61
5.4	Classificação Isodata	69
5.5	Confecção da Matriz de Confusão.....	74
6.	CONCLUSÕES.....	79
	Referências Bibliográficas.....	83
	Anexos	91

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Sítios visitados e suas coordenadas geodésicas	29
Tabela 2 - Parâmetros estatísticos das imagens Landsat-5/TM	33
Tabela 3 - Ganhos e perdas de NDVI dos recortes (talhões)	47
Tabela 4 - Nível de Concordância dos Valores do Índice <i>Kappa</i>	68
Tabela 5 - Índice <i>Kappa</i> e Acurácia obtidos nos mapas temáticos dos Talhões em estudo.....	70
Tabela A1.1 - Melhor intervalo para o Talhão “1”	91
Tabela A1.2 - Melhor intervalo para o Talhão “2”	91
Tabela A1.3 - Melhor intervalo para o Talhão “3”	91
Tabela A1.4 - Melhor intervalo para o Talhão “4”	91
Tabela A1.5 - Melhor intervalo para o Talhão “5”	92
Tabela A1.6 - Melhor intervalo para o Talhão “6”	92
Tabela A1.7 - Melhor intervalo para o Talhão “7”	92

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Composições de imagens Landsat-5/TM.....	9
Figura 2 - Imagem Landsat-5/TM RGB 543 que mostra uma zona de PMFS explorada sem critério	14
Figura 3 - Imagens Landsat-5/TM – RGB 543 que mostra propriedades rurais com problemas de regularização fundiária.....	16
Figura 4 - Curva Espectral da Vegetação. Fonte: adaptado de Hoffer, 1978	19
Figura 5 - Localização geográfica da zona estudada.....	25
Figura 6 - Gráfico da média de precipitação de Juína/MT (HIDROWEB, 2008)	27
Figura 7 - Gráfico da média de precipitação de Cotriguaçu/MT (HIDROWEB, 2008)	27
Figura 8 - Mapa de exploração de um PMFS.....	28
Figura 9 - Posição dos sete talhões objectos de estudo	47
Figura 10 - Relação entre a zona da clareira e as conexões de Cipós (adaptado de Vidal et al., 1998)	48
Figura 11 - À esquerda um toco e à direita a abertura do copado florestal correspondente.....	49
Figura 12 - Talhão “2” (18/07/2011) - Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras e cipós	50
Figura 13 - Padrão de um histograma de Imagem Diferença NDVI com limiar de alteração dado por $\mu \pm Y \times \sigma$. Fonte: Machado, A. F. S. (2005)	52
Figura 14 - 229/66–10/07/2009 – Talhão “1”	54
Figura 15 - 229/66-13/07/2010 – Talhão “1”	54
Figura 16 - 229/68-13/07/2010 - Talhão “2“	54
Figura 17 - 229/68-01/08/2011 – Talhão “2”	54
Figura 18 - 229/68–13/07/2010 - Talhão “3”	54
Figura 19 - 229/68–01/08/2011 – Talhão “3”	54
Figura 20 - 229/68–13/07/2010 - Talhão “4”	55
Figura 21 - 229/68–01/08/2011 – Talhão “4”	55

Figura 22 - 229/68–13/07/2010 - Talhão “5”	55
Figura 23 - 229/68-01/08/2011 – Talhão “5”	55
Figura 24 – 229/68-08/04/2010 - Talhão “6”	55
Figura 25 - 229/68-27/04/2011 – Talhão “6”	55
Figura 26 - 229/68–08/04/2010 - Talhão “7”	55
Figura 27 - 229/68–27/04/2011- Talhão “7”	55
Figura 28 - Imagem Diferença NDVI (2010-2009) do Talhão “1”, escala 1:100.000	57
Figura 29 - Foto de um carreador em regeneração sobreposto à Imagem Diferença NDVI da Figura 28 (superior) e Imagem Google Earth de alta resolução (inferior), com os pontos de controle em amarelo	58
Figura 30 - Imagens NDVI e Diferença NDVI do Talhão “1”	59
Figura 31 - Perda de NDVI nos sítios dos tocos	60
Figura 32 - Pátio de estocagem indicado pelo píxel mais escuro	60
Figura 33 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão “1”	62
Figura 34 - Histogramas de quatro diferentes valores de desvio padrão da Imagem Diferença NDVI do Talhão “1”	63
Figura 35 - Imagem Diferença NDVI do limiar “ $\mu - 1 \times \sigma$ ” do Talhão “1”	64
Figura 36 - Imagem Diferença NDVI do limiar “ $\mu - 1,25 \times \sigma$ ” do Talhão “1” .	65
Figura 37 - Imagem Diferença NDVI do limiar “ $\mu - 1,5 \times \sigma$ ” do Talhão “1” ...	66
Figura 38 - Imagem Diferença NDVI do limiar “ $\mu - 1,75 \times \sigma$ ” do Talhão “1” .	67
Figura 39 - Imagem Landsat-5/TM – RG 543 e Imagem Diferença NDVI do limiar “ $\mu - 1,25 \times \sigma$ ” do Talhão “1”	68
Figura 40 - Fotografias de cobertos florestais alterados cujos píxeis foram detectados.....	69
Figura 41 – Imagem Diferença NDVI do limiar de “ $\mu - 1 \times \sigma$ ” do Talhão “2”, reclassificada no ArcMap 10.0 e os pontos de controle	70
Figura 42 – Classificação Isodata do Talhão “2” e os pontos de controle em preto	71
Figura 43 - Classificação Isodata do Talhão “2” e os pontos de controle em preto	71

Figura 44 – Classificação Isodata do Talhão “3” e os pontos de controle em preto.....	72
Figura 45 - Classificação Isodata do Talhão “4” e os pontos de controle em preto.....	72
Figura 46 - Classificação Isodata do Talhão “5” e os pontos de controle em preto.....	73
Figura 47 - Classificação Isodata do Talhão “6” e os pontos de controle em preto.....	74
Figura 48 - Classificação Isodata do Talhão “7” e os pontos de controle em preto.....	74
Figura 49 - Matriz de Confusão para o Talhão “2”, com <i>Kappa</i> de 79,72%	75
Figura 50 - Imagem Diferença NDVI – Talhão “1”	77
Figura 51 - Imagem Diferença NDVI – Talhão “2”	77
Figura 52 - Imagem Diferença NDVI – Talhão “3”	77
Figura 53 - Imagem Diferença NDVI – Talhão “4”	77
Figura 54 - Imagem Diferença NDVI – Talhão “5”	78
Figura 55 - Imagem Diferença NDVI – Talhão “6”	78
Figura 56 - Imagem Diferença NDVI – Talhão “7”	78
Figura 57 - Tripé da Fraude Florestal.....	82
Figura A2.1 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 1 com valor da média em - 0,039584609 e desvio padrão em 0,055502824	93
Figura A2.2 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 2 com valor da média em 0,053217429 e desvio padrão em 0,089603409	93
Figura A2.3 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 3 com valor da média em 0,027271606 e desvio padrão em 0,049686095	94
Figura A2.4 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 4 com valor da média em – 0,035547476 e desvio padrão em 0,043536262	94
Figura A2.5 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 5 com valor da média em – 0,007016718	

e desvio padrão em 0,064873817	95
Figura A2.6 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 6 com valor da média em - 0,008286328 e desvio padrão em 0,075158683	95
Figura A2.7 - Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 7 com valor da média em 0,04648628 e desvio padrão em 0,030827061	96
Figura A3.1 - Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1 \times \sigma$)	96
Figura A3.2 - Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “1”	97
Figura A3.3 - Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)	97
Figura A3.4 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “1”	98
Figura A3.5 – Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)	98
Figura A3.6 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “1”	99
Figura A3.7 – Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1,75 \times \sigma$)	99
Figura A3.8 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,75 \times \sigma$ no Talhão “1”	100
Figura A3.9 - Histograma do Talhão “2” ($\mu - 0,75 \times \sigma$)	100
Figura A3.10 - Mapa temático gerado com $\mu - 0,75 \times \sigma$ no Talhão “2”	101
Figura A3.11 - Histograma do Talhão “2” ($\mu - 1 \times \sigma$)	101
Figura A3.12 - Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “2”	102
Figura A3.13 - Histograma do Talhão “2” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)	102
Figura A3.14 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “2”	103
Figura A3.15 - Histograma do Talhão “2” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)	103
Figura A3.16 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “2”	104
Figura A3.17 - Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1 \times \sigma$)	104
Figura A3.18 - Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “3”	105
Figura A3.19 - Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)	105
Figura A3.20 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “3”	106
Figura A3.21 - Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)	106
Figura A3.22 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “3”	107
Figura A3.23 - Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1,75 \times \sigma$)	107
Figura A3.24 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,75 \times \sigma$ no Talhão “3”	108
Figura A3.25 - Histograma do Talhão “4” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)	108
Figura A3.26 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “4”	109
Figura A3.27 - Histograma do Talhão “4” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)	109

Figura A3.28 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “4”	110
Figura A3.29 - Histograma do Talhão “4” ($\mu - 1,75 \times \sigma$)	110
Figura A3.30 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,75 \times \sigma$ no Talhão “4”	111
Figura A3.31 - Histograma do Talhão “4” ($\mu - 2 \times \sigma$)	111
Figura A3.32 - Mapa temático gerado com $\mu - 2 \times \sigma$ no Talhão “4”	112
Figura A3.33 - Histograma do Talhão “5” ($\mu - 0,5 \times \sigma$)	112
Figura A3.34 - Mapa temático gerado com $\mu - 0,5 \times \sigma$ no Talhão “5”	113
Figura A3.35 - Histograma do Talhão “5” ($\mu - 0,75 \times \sigma$)	113
Figura A3.36 - Mapa temático gerado com $\mu - 0,75 \times \sigma$ no Talhão “5”	114
Figura A3.37 - Histograma do Talhão “5” ($\mu - 1 \times \sigma$)	114
Figura A3.38 - Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “5”	115
Figura A3.39 - Histograma do Talhão “5” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)	115
Figura A3.40 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “5”	116
Figura A3.41 - Histograma do Talhão “6” ($\mu - 0,5 \times \sigma$)	116
Figura A3.42 - Mapa temático gerado com $\mu - 0,5 \times \sigma$ no Talhão “6”	117
Figura A3.43 - Histograma do Talhão “6” ($\mu - 0,75 \times \sigma$)	117
Figura A3.44 - Mapa temático gerado com $\mu - 0,75 \times \sigma$ no Talhão “6”	118
Figura A3.45 - Histograma do Talhão “6” ($\mu - 1 \times \sigma$)	118
Figura A3.46 - Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “6”	119
Figura A3.47 - Histograma do Talhão “6” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)	119
Figura A3.48 - Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “6”	120
Figura A3.49 - Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2 \times \sigma$)	120
Figura A3.50 - Mapa temático gerado com $\mu - 2 \times \sigma$ no Talhão “7”	121
Figura A3.51 - Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2,25 \times \sigma$)	121
Figura A3.52 - Mapa temático gerado com $\mu - 2,25 \times \sigma$ no Talhão “7”	122
Figura A3.53 - Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2,5 \times \sigma$)	122
Figura A3.54 - Mapa temático gerado com $\mu - 2,5 \times \sigma$ no Talhão “7”	123
Figura A3.55 - Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2,75 \times \sigma$)	123
Figura A3.56 - Mapa temático gerado com $\mu - 2,75 \times \sigma$ no Talhão “7”	124
Figura A3.57 - Histograma do Talhão “7” ($\mu - 3 \times \sigma$)	124
Figura A3.58 - Mapa temático gerado com $\mu - 3 \times \sigma$ no Talhão “7”	125
Figura A4.1 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “1” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1,25 \times \sigma$ (- 0,108963139)	126

Figura A4.2 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “2” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1 \times \sigma$ (- 0,03638598).....	126
Figura A4.3 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “3” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1,5 \times \sigma$ (- 0,04725753650).....	127
Figura A4.4 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “4” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1,75 \times \sigma$ (- 0,1117359345).....	127
Figura A4.5 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “5” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1 \times \sigma$ (- 0,07189053500).....	128
Figura A4.6 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “6” com limiar de alteração fixado em $\mu - 0,75 \times \sigma$ (- 0,04808268425).....	128
Figura A4.7 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “7” com limiar de alteração fixado em $\mu - 2,75 \times \sigma$ (- 0,03828813775).....	129
Figura A5.1 - Matriz de Confusão - Talhão “1” com Índice Kappa de 45,37%	130
Figura A5.2 - Matriz de Confusão - Talhão “2” com Índice Kappa de 79,72%	130
Figura A5.3 - Matriz de Confusão - Talhão “3” com Índice Kappa de 61,02%	130
Figura A5.4 - Matriz de Confusão - Talhão “4” com Índice Kappa de 30,41%	131
Figura A5.5 - Matriz de Confusão - Talhão “5” com Índice Kappa de 36,62%	131

1. INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento

O Bioma Amazônia estende-se por nove países da América do Sul, o que totaliza uma zona de 6,4 milhões de quilômetros quadrados. Deste total, o Brasil abriga 63%, ou quatro milhões de quilômetros quadrados. Os 37% restantes (2,4 milhões de quilômetros quadrados) estão distribuídos entre o Peru - 10%, Colômbia - 7%, Bolívia - 6%, Venezuela - 6%, Guiana - 3%, Suriname - 2%, Equador - 1,5% e Guiana Francesa -1,5% (Lentini et al., 2005). Esse bioma abrange os estados do Pará, Amazonas, Maranhão, Goiás, Mato Grosso, Acre, Amapá, Rondônia, Roraima e Tocantins, em um total de 4.871.000 km² e uma população em torno de vinte milhões de habitantes, 60% dela a viver em zonas urbanas (INPE, 2004).

Além de abrigar vastos recursos hídricos, florestais e minerais, a floresta tem importantes funções ecológicas, como a conservação de recursos genéticos em sua rica biodiversidade, porém, até 2010 cerca de 71 milhões de ha da Floresta Amazônica brasileira foram desmatados, o que equivale a 18% de seu coberto florestal original (EMBRAPA e INPE, 2011).

O desmatamento é tido como a maior causa de perda de biodiversidade no Bioma Amazônico, uma vez que uma zona desmatada se transforma em um sistema ecológico simples, dominado por poucas espécies. Em um país onde grande parte da riqueza gerada vem do *agribusiness* é bastante difícil convencer os empresários do sector a investir mais em conservação do solo e recuperação de zonas degradadas e evitar o desmatamento de novas zonas, uma vez que as *commodities* nunca estiveram com preços tão elevados como nos últimos anos, principalmente o preço das madeiras nativas brasileiras.

Neste sentido sente-se a ausência de políticas de protecção dos solos férteis e da biodiversidade das zonas ainda com coberto florestal original (floresta primária) no país. O desmatamento e o corte seletivo quando são realizados de forma ilegal potencializam os danos ao meio ambiente, pois ocorrem sem quaisquer controles do Estado.

A redução da exploração ilegal é essencial, pois evita a expansão das estradas ilegais e do capital ilegal que facilitam o desmatamento (Barreto e Araújo, 2012). O desmatamento se distribui exponencialmente em função da distância às estradas, o que indica a diminuição drástica do risco de desmatamento nas zonas mais distantes das estradas (Brandão Jr. et al., 2007).

São várias as causas do desmatamento, sendo que as principais são o estabelecimento de pastagens para o gado e a exploração madeireira (Fearnside, 2005). Tais pastagens apresentam baixa produtividade e devido às complexas causas do desmatamento, que inclui questões sociais, económicas, ambientais e políticas, a solução para esse problema passa necessariamente pela criação de políticas públicas adequadas para a região. Essas políticas públicas têm de ser elaboradas de forma a considerar tanto a conservação dos recursos naturais, quanto o desenvolvimento da região e de suas populações. Ou seja, começar a pensar uma forma de desenvolvimento sustentável.

1.2 Objectivos

Este trabalho foi motivado pela necessidade de se criar metodologia adequada para o reconhecimento de feições de zonas florestadas que sofreram corte seletivo na Amazônia Brasileira.

Embora as imagens Landsat-5, sensor *Thematic Mapper* (TM), sejam mais direccionadas para estudos a nível regional, pois não apresentam o grau de pormenor necessário para escalas sítios, neste estudo elas serão utilizadas justamente para detectar alterações de menor dimensão. O reconhecimento destas zonas foi baseado na interpretação das Imagens Diferença NDVI e no conhecimento prévio destas zonas.

Embora seja possível distinguir zonas homogêneas nas imagens de forma visual, não é possível distingui-las no que se refere às zonas florestadas sem exploração e aquelas que sofreram corte seletivo, uma vez que a

diferença entre as mesmas é extremamente sutil, o que dificulta a realização de tal tarefa por meio visual.

Objectiva-se assim, que a classe espectral de floresta com corte seletivo (alteração do copado florestal) possa ser perfeitamente caracterizada, ou seja, que nela não se inclua mais de uma classe de informação, mas que fique caracterizada apenas sua variabilidade, de forma que se possa ao final dos trabalhos, ser individualizada como uma nova classe de informação.

Buscou-se através da diferença de imagens NDVI, obtidas pelo uso dos algoritmos de subtração de imagens do ArcGis 10.0 e, posteriormente, com a realização do tratamento destas imagens, produzir uma metodologia capaz de gerar padrões espectrais de corte seletivo da floresta, que permitam detectar as zonas exploradas, através das características espectrais da floresta explorada. A validação da metodologia será realizada com a utilização de fotografias *in loco* dos sítios dos exames, que serão utilizadas como referência na construção da Matriz de Confusão.

A motivação para o uso do NDVI se baseia na condição de que a aplicação deste índice aumenta a diferenciação das zonas com diferentes quantidades de biomassa, o que permite a representação dessas variações na forma de píxeis alterados e inalterados.

Através da classificação manual das Imagens Diferença NDVI o utilizador pode determinar os limites de decisão para a formação das classes (“Alterada” e “Inalterada”), com a utilização de diferentes valores de desvio padrão, como limiares de alteração.

Uma vez que este estudo não pretende comparar valores de NDVI entre fitofisionomias diferentes, ou seja, não se pretende realizar uma classificação de fitofisionomias, o emprego da diferença de valores NDVI pode trazer resultados bastante significativos.

1.3 Exploração Madeireira

A exploração madeireira foi uma das actividades que ganhou impulso nos últimos anos devido aos altos preços da madeira proveniente de floresta nativa alcançados no mercado doméstico e externo. É uma das principais actividades económicas da região amazónica, que contribui com aproximadamente 15% do Produto Interno Bruto (PIB) dos Estados do Pará, Mato Grosso e Rondônia, com rendimento bruto em torno de US\$ 2,5 bilhões por ano e geração de 344 mil empregos directos e indirectos (Lentini et al., 2005).

É bastante marcante a contribuição do sector madeireiro da Amazônia para a economia regional e nacional e o facto das exportações estarem a crescer, não impede que a maior parte da produção ainda seja consumida no mercado interno. No entanto a expansão da exploração madeireira ainda enfrenta problemas graves como a baixa qualidade das operações silvícolas, que ocasionam a perda de recursos naturais da floresta amazónica. Em contrapartida, a melhoria da eficiência das operações de desdobro possibilitaria o aumento de rendimento e a menor necessidade de se explorar novas zonas.

São duas as formas de exploração florestal seletiva na região:

- I) Exploração Manejada ou de Impacto Reduzido, caracterizada pelo planeamento da construção de estradas, pátios de estocagem (esplanadas) e carregadores (ramais de arraste);
- II) Exploração Predatória, caracterizada pela exploração sem planeamento onde estradas e pátios de estocagem seguem a rota mais conveniente, os cipós não são cortados antes da exploração e as árvores são derrubadas sem técnicas de corte (Uhl, C. et al. 1997), o que causa maior impacto na floresta (bastante encontrada).

O manejo florestal é uma excelente alternativa ao desmatamento, embora nem toda zona florestada deva ser explorada e, sobretudo, o modelo de manejo implantado no Brasil ainda se apresenta eivado de falhas que ainda

o impede de ser uma forma de gestão das florestas para garantia da sustentabilidade.

Segundo a Secretaria de Estado do Meio Ambiente (SEMA/MT), até maio de 2011, o Estado de Mato Grosso possuía 2,5 milhões de ha de Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS), o que corresponde a aproximadamente 27% do território de Portugal e que lhe confere a segunda colocação em produção de madeira nativa Amazónica.

Registos da Federação das Indústrias no Estado de Mato Grosso (FIEMT) mostram que, o consumo anual do Estado é de 135.000 ha por ano e o Estado conta com 1.600 indústrias madeireiras que consome 3,2 milhões de m³/ano, sendo que 62,56% da produção se destinam a outros Estados, 16,64% vão para o consumo interno e 20,80% são exportados, na forma de compensado, tábua, sarrafo, short, prancha, piso, assoalho, decking, caibro, produto acabado, dormente e resíduo.

Dentre os países importadores de produtos de origem florestal proveniente da Amazônia Brasileira estão: Estados Unidos da América, Martinica, República Dominicana, Trinidad e Tobago, Venezuela, China, República Tcheca, Jamaica, Países Baixos, Portugal, Suíça, Argentina, Canadá, Guatemala, México, Bélgica, França, Peru, Grã Bretanha, Dinamarca, Alemanha, Antilhas Holandesas, Espanha, Federação Russa, Itália, Panamá, Polónia, República da Coreia, Israel, Japão, Chipre, Aruba, África do Sul, Áustria, Croácia, Eslovênia, Grécia, Guadalupe, Índia, Indonésia, Jamaica, Lituânia, Malásia, Finlândia e República Democrática Popular da Coreia, ou seja, grande parte da população mundial se beneficia destes produtos cuja origem é em boa parte comprovadamente ilegal.

O monitoramento da actividade madeireira é factor limitante para estabelecer planos de ação e estratégias que contribuam para o uso sustentável dos recursos florestais, ao permitir identificar zonas afetadas pela exploração madeireira ilegal.

1.4 Detecção Remota

Como forma de fortalecimento do manejo florestal como o método mais adequado de exploração florestal, as técnicas de sensoriamento remoto surgem como ferramentas essenciais. No Brasil, devido à facilidade na aquisição das imagens do satélite Landsat-5/TM (Sensor Mapeador Temático) e ResourceSat-1, disponibilizadas gratuitamente através do sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>, sua utilização se torna quase que imperativa em um quadro de recursos parcos e premente necessidade de se conter o avanço da exploração ilegal.

A detecção remota em conjunto com as técnicas de geoprocessamento, se tornam instrumentos essenciais na detecção e quantificação dos impactos causados pela exploração madeireira na Amazônia, de forma que servem como poderoso aliado nos trabalhos de fiscalização e controle da exploração predatória.

As vistorias *in loco* podem ser substituídas em grande parte das vezes pela detecção remota. O coberto florestal da propriedade, por exemplo, pode ser muito bem caracterizado a distância através de ferramentas de geoprocessamento e um banco de dados geográficos confiável.

O monitoramento da Floresta Amazônica, embora ainda pouco utilizado, é essencial em virtude da dificuldade de fiscalização de uma região de grande dimensão territorial e de dificuldades de acesso, mas não pode ser realizado a contento sem que se produzam informações de detecção de corte seletivo da floresta.

Apesar dos avanços ocorridos nos sistemas de gestão florestal dos Estados Amazônicos nos últimos anos, com o uso de Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e imagens de satélite por parte dos órgãos ambientais, é necessário que tais ferramentas sejam utilizadas na aprovação e monitoramento dos PMFS sob suas égides, uma vez que é impossível a presença de fiscais ambientais em tempo integral em todas as estradas da Amazônia, porém, com a reciclagem destes profissionais, com equipamentos que permitam o acesso *on line* aos sistemas de controle e

com o rastreamento contínuo via satélite dos veículos transportadores, os resultados poderiam ser bastante promissores.

Aliado a isto ainda existe o problema da diversidade de métodos utilizados para produzir as estimativas de desmatamento, que frequentemente geram valores discrepantes, o que pode levar ao descrédito dos resultados por parte da população.

O satélite Amazônia-1, desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), órgão subordinado ao Ministério da Ciência, Tecnologia e Inovação, tem lançamento previsto para 2013, com órbita polar, e com objectivo de gerar imagens do planeta a cada quatro dias. Possui imageador óptico de três bandas espectrais no visível (VIS) e uma banda no infravermelho próximo ou *near-infrared* (NIR) com 40 m de resolução espacial, o que permitirá a melhora nos dados de alerta de desmatamento na Amazônia, uma vez que maximizará a aquisição de imagens úteis diante do coberto de nuvens na região, que sempre se apresenta como entrave na aquisição de imagens ópticas.

As nuvens são a maior barreira à radiação solar, do ponto de vista da detecção remota, porque impedem a passagem da radiação solar na porção reflectiva do espectro eletromagnético, onde opera a maioria dos sistemas sensores (Moreira, 2011).

Em 2008 foi firmado um projecto entre o Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis (IBAMA), a Polícia Federal, a *Japan International Cooperation Agency* (JICA) e a Agência Brasileira de Cooperação (ABC), vinculada ao Ministério das Relações Exteriores, no âmbito do Acordo Básico de Cooperação Técnica entre o Brasil e o Japão, denominado de “Contribuição à Protecção da Amazônia Brasileira e Combate ao Desmatamento Ilegal com a Utilização de Imagens do Satélite Japonês ALOS”. Um dos objectivos seria a utilização das imagens obtidas por sensores radar (PALSAR), o que permitiria a observação e constatação de desmatamento mesmo sob a presença de nuvens, porém este satélite deixou de operar em abril de 2011.

Tal iniciativa, porém, esbarrou em problemas como o pequeno número de imagens geradas, além disto, não permite o mapeamento detalhado das zonas exploradas, tal qual a imagem Landsat, o que impede, por exemplo, a identificação dos pátios de estocagem, embora ainda permita a identificação de estradas, que pode auxiliar indiretamente na identificação do corte seletivo da floresta, (Souza Jr. e Barreto, 2001).

Infelizmente, a exploração ilegal utiliza-se do corte seletivo das florestas com a finalidade de burlar a fiscalização, devido à dificuldade de se detectar este tipo de exploração através de imagens de satélite de baixa e média resolução.

Alguns estudos já demonstram que é possível caracterizar e mapear a exploração madeireira na Amazônia, através da utilização de imagens de satélite, a partir das quais são identificadas algumas feições típicas da extração madeireira, como a distribuição de pátios de estocagem e redes de estradas (Watrin e Rocha, 1992).

As imagens obtidas através de sensores remotos registam a energia proveniente dos objectos da superfície observada e a cor resultante é um dos elementos utilizados na interpretação das imagens coloridas. A textura é outro importante elemento de identificação, pois contém informações quanto às variações de níveis de cinza de uma imagem, assim, por exemplo, uma vegetação nativa apresentará textura muito mais rugosa que uma proveniente de reflorestamento, que é mais rugosa que uma zona de cultura.

Na utilização da técnica de processamento de imagens *Red-Green-Blue* (RGB)¹, cuja combinação das cores facilita a visualização e a interpretação de imagens de satélite, ao se trabalhar com imagens Landsat-5/TM, a composição colorida de cores verdadeiras deve ser designada por RGB 321, pois corresponde respectivamente às bandas do vermelho, do verde e do azul, porém, tal composição não é indicada para o estudo da vegetação.

Na composição de cores verdadeiras se atribui a cada cor a banda que cobre a mesma zona do espectro eletromagnético e nas composições falsa

¹ RGB – sistema de cores aditivas: vermelho, verde e azul

cor não existe uma relação direta entre as cores da composição RGB e as regiões do espectro eletromagnético das bandas que lhe são associadas.

A composição RGB 432 discrimina de forma bastante adequada zonas de vegetação e de solo exposto, porém, para melhor visualização do solo exposto, indica-se a utilização da composição RGB 543, ou seja, sem a aplicação do canhão de luz azul e com a utilização do aplicativo ArcMap do software ArcGis, que possui o recurso de realce de imagem denominado de *Stretching* ou espalhamento de contraste, que permite uniformizar a distribuição das raiais de um histograma de forma que estas preencham toda a faixa do espectro de cinza, com manipulação de contraste configurada para desvio padrão de valor 2, ou seja, ± 2 em relação à média, com aplicação da estatística da extensão de exibição actual (Figura 1).

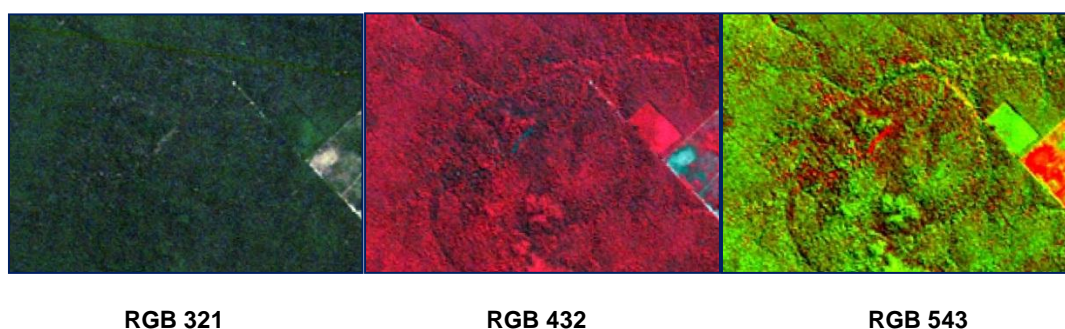


Figura 1 – Composições coloridas de uma imagem Landsat-5/TM

As zonas de exploração florestal ilegal ou aqueles PMFS que embora legais não obedeçam à Norma de Execução da Directoria de Florestas (DIREF) Nº 01/2006 do IBAMA, que preconiza o tamanho do pátio de estocagem das toras como sendo de 25 x 25 metros, tenderão a ter dimensões de pátios bem maiores, o que torna mais fácil sua detecção pelos sensores.

Para tentar solucionar tal situação, por algum tempo esteve em operação o programa de Mapeamento da Degradação Florestal na Amazônia Brasileira (DEGRAD) do INPE, criado para o monitoramento da degradação florestal (corte seletivo) na Floresta Amazônica, porém, ressalta-se que a zona mínima mapeada pelo programa era de 6,25 ha e havia muita dificuldade na

manipulação da imensa quantidade de dados produzida, o que resultou em muita morosidade na produção dos resultados, o que permitiu ao INPE divulgar somente os dados relativos aos anos de 2007 a 2009.

A demora no processamento dos dados leva à perda da eficiência da fiscalização, em virtude do tempo de resposta inadequado. Tal situação, aliada ao alto custo do programa provocam reações desfavoráveis na sociedade e forçam os actores do monitoramento da Floresta Amazónica a buscar ferramentas mais rápidas e eficientes.

2 – FRAUDES E FALHAS NA GESTÃO FLORESTAL DA AMAZÓNIA

2.1 Panorama actual

A Constituição Brasileira de 1988 elevou os municípios brasileiros à condição de unidade federada e estabeleceu a repartição de competências e a previsão do direito do meio ambiente, porém, o pequeno número de municípios que conta com algum órgão para tratar de meio ambiente é indicativo de que o meio ambiente ainda não é prioridade no país.

Em 1995 o Estado de Mato Grosso aprovou sua política estadual de meio ambiente e foi o primeiro Estado Amazônico a assumir sua gestão florestal. Em 2006, o objectivo de descentralizar para os Estados as acções ambientais era a suposição de que estes eram mais efectivos no tratamento com as questões ambientais, porém, após alguns anos de descentralização da gestão ambiental, verificou-se que os problemas de má gestão, corrupção de funcionários públicos e fraudes de inventários florestais continuam a ocorrer.

Zelar pelo meio ambiente é dever do Estado, assim, na ocorrência de danos ambientais há lesão a interesses difusos ou coletivos, ocorre dano moral coletivo, porém, em um panorama onde a fiscalização será sempre mal vista pela sociedade local, diretamente atingida pela exploração madeireira ilegal, devido à dependência económica com as empresas madeireiras, tais danos devem ser objectos de estudo e regulação e, o sucesso de um sistema de

controle, passa necessariamente pela aplicação dos limites impostos pela legislação.

O poder público necessita urgentemente de aumentar a eficiência da fiscalização, através de técnicas mais avançadas e economicamente viáveis de serem executadas. Ocorre que, as únicas formas legais de se explorar a floresta amazônica são através da aprovação de um PMFS ou de um Plano de Exploração Florestal (PEF), porém, é de praxe constatar fraudes na elaboração, aprovação e condução destes projectos junto aos órgãos responsáveis pela gestão florestal, o que permite a exploração de zonas não licenciadas de propriedades particulares, exploração de terras indígenas, exploração ilegal de assentamentos rurais e unidades de conservação.

O que se vê actualmente é que, em virtude das dificuldades de se realizar uma vistoria, devido à dificuldade de acesso, o pequeno número de fiscais, o alto custo, as longas distâncias percorridas e ao tempo gasto, não há como se realizar vistoria adequada em todos os planos de manejo aprovados pelo órgão gestor ambiental, o que colabora para o aumento do número de fraudes que ocorrem tanto a campo quanto nos sistemas de controle e monitoramento.

Em 2006 o Estado de Mato Grosso assumiu a gestão florestal e, através da SEMA/MT, implantou o sistema Sisflora, que ainda se apresenta vulnerável a fraudes e falhas, pois permite a existência de créditos virtuais e a comercialização destes créditos e, ainda, legaliza madeiras de origem ilegal, como ficou demonstrado nas Operações Jurupari e Pharisaicos, deflagradas pela Polícia Federal no ano de 2010 neste Estado.

Com o auxílio de imagens de satélite, constatou-se que no período de agosto de 2009 a julho de 2010 foram explorados aproximadamente 226.047 ha de florestas no Estado de Mato Grosso. Deste total, 99.800 ha não foram autorizados pela SEMA/MT, ou seja, um total de 44% do desmatamento detectado foi ilegal. Da exploração florestal ilegal ocorrida, aproximadamente 12,1% ocorreu em zonas protegidas como Terras

Indígenas e Unidades de Conservação (Monteiro, Conrado, Cardoso, Veríssimo e Souza Jr, 2011).

O conceito de sustentabilidade se assenta na capacidade da floresta de continuar a cumprir com as suas funções ambientais, económicas e sociais, de forma a garantir que as futuras gerações possam usufruir de seus recursos nos mesmos níveis atuais.

Em toda a cadeia de produção florestal brasileira constata-se que não são tomadas medidas que permitam maximizar a produtividade, a redução dos desperdícios e a protecção das Áreas de Preservação Permanente (APP).

2.2 Plano de Manejo Florestal Sustentável (PMFS)

A Resolução nº 406/2009 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), estabeleceu parâmetros técnicos para exploração de PMFS em florestas nativas no Bioma Amazônia, como o inventário florestal das árvores com Diâmetro à Altura do Peito (DAP) maior ou igual a 10 cm, o Diâmetro Mínimo de Corte (DMC) de 50 cm para as espécies para as quais ainda não se estabeleceu DMC específico, estimou uma produtividade de 0,86 m³/ha/ano, com ciclo de corte de 25 a 35 anos e fixou em 30 m³/ha a intensidade máxima de corte.

Um PMFS sempre visa o mínimo impacto na floresta e inicia-se com o inventário florestal 100% e com a produção dos mapas (actividade de geoprocessamento executada pelo responsável técnico), que devem conter a localização da árvores inventariadas de interesse comercial (de corte), as porta-sementes, as remanescentes, que ainda não atingiram o DMC e aquelas proibidas de corte. Também devem ser plotadas as estradas principais que atingem os pontos estratégicos do projecto, as estradas secundárias, que unem as principais nas trilhas (ramais) de arraste e os pátios de estocagem.

Durante a exploração, o corte das árvores deve ser direccionado, de forma a minimizar os danos às árvores vizinhas e indivíduos mais jovens e o arraste

do fuste pelos *skidders* também deve buscar o menor impacto, com a construção de ramais de arraste que não excedam a 3,0 metros de largura.

De forma geral, nas explorações atuais de PMFS não são seguidas as recomendações para a redução dos danos à vegetação remanescente, como o corte de cipós na fase pré-exploratória e o corte com queda planejada da árvore, assim como, não existem actividades de pós-colheita relativas aos tratamentos silviculturais para estimular o desenvolvimento florestal; quando muito, são tomadas providências com relação à protecção da zona explorada. Todas essas medidas, caso fossem realizadas, necessariamente deveriam passar pela formação dos trabalhadores florestais envolvidos, atores iniciais do processo de produção florestal.

No nível mais especializado do processo produtivo florestal regista-se a falta de acompanhamento técnico na fase operacional do manejo florestal, que necessariamente deveria ser executada pelos profissionais liberais responsáveis pelo projecto de exploração, mas que, por falta de vistorias do órgão gestor ambiental, raramente é realizada.

A ausência deste acompanhamento técnico aliada à baixa capacitação, tanto gerencial quanto operacional, na produção da matéria-prima, provoca os primeiros impactos negativos na floresta, o que impede a produção contínua de madeira, ou seja, a produção sustentável. Tal situação talvez seja o maior gargalo da manutenção da produção das florestas nativas da Amazónia.

Segundo Sabogal, C. et ali. (2006), o papel dos engenheiros florestais deveria estar mais fortemente ligado ao monitoramento das práticas de manejo e à promoção de sua efetiva execução. As normas e regulamentos do manejo florestal deveriam ser mais específicos para evitar a subjetividade na análise das operações manejadas e diminuir os custos de transação do manejo florestal.

As zonas avermelhadas da imagem Landsat-5/TM, RGB 543 da Figura 2, evidenciam as zonas exploradas de um projecto de manejo florestal aprovado pela SEMA/MT, onde se constata que a exploração excedeu o

perímetro previamente aprovado para a implantação do PMFS (polígono azul), os sinais de sobre-exploração são evidentes, pois a exploração atinge praticamente a totalidade da zona (restam poucas zonas verdes da floresta original), ou seja, as técnicas adequadas de manejo florestal não foram aplicadas, não houve critério na exploração, não sendo possível discriminar os pátios de estocagem (esplanadas) e estradas secundárias e principais do PMFS, o que demonstra que não houve preocupação com a redução dos impactos negativos na estrutura da floresta.

Fica demonstrado que muitas vezes não há necessidade de se realizar vistoria *in loco*, pois algumas informações relevantes podem ser coletadas através de detecção remota, com economia de recursos e de pessoal qualificado.

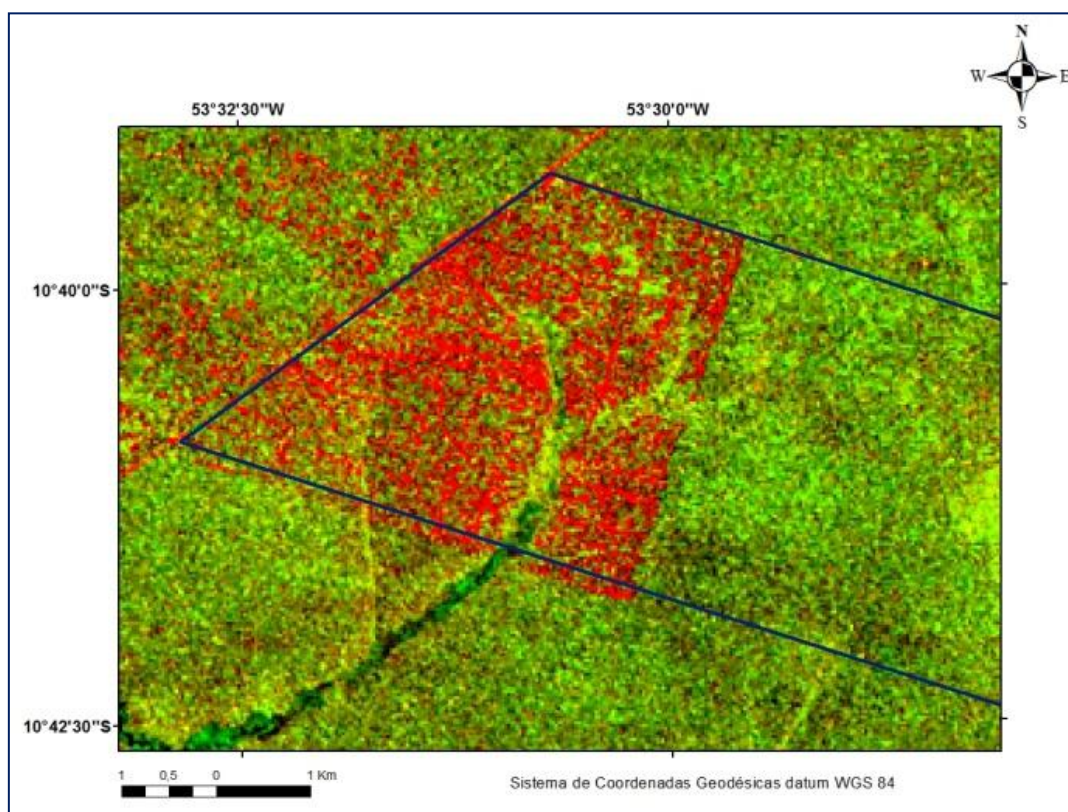


Figura 2 – Imagem Landsat-5/TM RGB 543 que mostra uma zona de PMFS explorada sem critério

2.3 Ferramentas disponíveis

A SEMA/MT disponibiliza em seu *site* os ficheiros no formato *shape* dos limites georreferenciados das propriedades rurais cadastradas, cujas tabelas de atributos, contêm informações alfanuméricas, fornecem o nome da propriedade, o nome do proprietário, o número do processo ambiental protocolado no órgão e a zona da propriedade. Também disponibiliza as Autorizações para Exploração Florestal (AUTEX), que apresentam um anexo com um mapa-imagem da zona aprovada para a implantação do PMFS, o que além de auxiliar o trabalho de fiscalização a respeito da zona manejada, permite fornecer informações quanto às zonas sem licenciamento que apresentam exploração florestal ilegal.

As tecnologias avançadas devem ser usadas em conjunto com as vistorias de campo, que por sua vez devem ser realizadas por técnicos qualificados, mas a ausência de vontade política para a utilização plena destes sistemas colabora com o afloramento de suas fragilidades, como a aprovação de licenciamento e de PMFS sem vistoria, a inserção de créditos fictícios no sistema Sisflora, a aprovação de inventários florestais superestimados, ausência de vistoria pós-exploratória e a aprovação de PMFS em zonas recentemente exploradas.

2.4 Regularização Fundiária

A imagem Landsat-5/TM, RGB 543, superior da Figura 3 mostra um exemplo de local onde foi detectada a presença de vários polígonos de propriedades rurais sobrepostos e onde foi aprovado um PMFS pela SEMA/MT, devido à condição de que para licenciamento da zona e posterior aprovação do PMFS basta que se apresente como documentação a Certidão de Cadastro do Imóvel Rural (CCIR) emitida pelo INCRA (Instituto Nacional de Reforma Agrária) e que após uma vistoria se comprove que tal posse é mansa e pacífica.

Na imagem Landsat-5/TM, RGB 543, inferior da Figura 3, o polígono que delimita a zona da propriedade rural encontra-se inserido no interior do

Parque Indígena do Xingu (PIX). Esta terra indígena foi criada pelo Decr. 50.455/1961, com zona de 2,5 milhões de hectares, onde vivem dezesseis povos indígenas, cada um com sua identidade linguística (fonte: Fundação Nacional do Índio - FUNAI).

Estes exemplos de irregularidades são bastante comuns, uma vez que o órgão gestor não se responsabiliza pelas informações fornecidas pelos proprietários rurais ou pelos detentores dos manejos e planos de exploração florestal a serem aprovados.

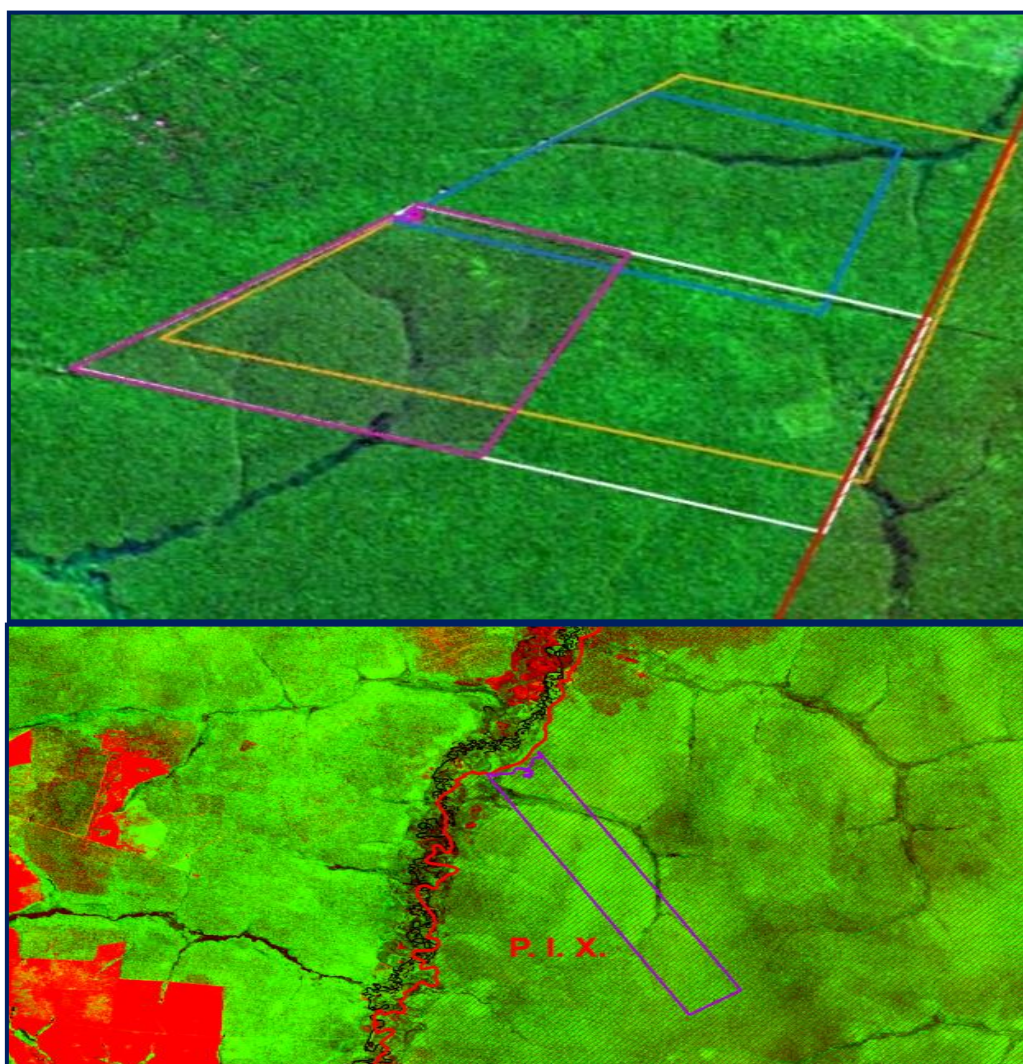


Figura 3 – Imagens Landsat-5/TM – RGB 543 que mostra propriedades rurais com problemas de regularização fundiária

A ausência de regularização fundiária além de acelerar a exploração ilegal madeireira não cria vínculos entre o homem e a floresta, o que tende a

provocar frequentes invasões de terras nas zonas de manejo florestal, algumas delas facilitadas pelo detentor da posse, pois não há qualquer interesse que a zona manejada complete seu ciclo produtivo de vinte a vinte e cinco anos, uma vez que o órgão gestor ambiental permite a exploração de toda a zona manejada no primeiro ano de exploração, em uma visão totalmente imediatista, o que resulta em um longo ciclo sem nenhum rendimento da Unidade de Produção Anual (UPA).

Tal situação não colabora de modo algum para a preservação da Floresta Amazônica, pois não há actividade produtiva capaz de suportar um período tão longo de ausência de rendimentos, o que torna a empresa rural economicamente inviável, não assegura o fornecimento de matéria-prima para as indústrias, pois certamente essas zonas serão em breve levadas à condição de corte raso da floresta para a implantação de pastagens, o que impedirá a sustentabilidade do sector industrial madeireiro consumidor de madeira nativa.

3 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Reflectância de Objectos Terrestres

A Radiometria é o ramo da Ciência que se dedica ao estudo e medidas de grandezas relacionadas à radiação eletromagnética que abrange as regiões do ultravioleta, visível e infravermelho. Um sistema de imageamento tem a função de carregar para o foco a energia eletromagnética (energia por unidade de tempo) reflectida ou emitida pela cena e interceptada, o que produz uma imagem digital que é uma representação do objecto original, representada em termos de uma matriz de números inteiros ou números digitais (ND) relacionados com essa energia reflectida e, ou, emitida dos alvos, expressos em níveis de cinza, para facilitar o manuseio e a análise (este processo é chamado de quantização).

O píxel é a menor unidade de um produto obtido por um sistema imageador sendo resultante da média de todas as energias reflectidas pelos diferentes alvos dentro do Campo de Visada Instantânea ou *Instantaneous Field of*

View (IFOV), assim, dentro do píxel não há variação do nível de cinza porque nele está representada uma quantidade média de energia. Todos os píxeis têm a mesma área, que é função da resolução espacial do sensor e a cada píxel estará associado um número digital, que representa o nível de energia medido pelo sensor.

Assim, a reflectância dos objectos permite aos sensores dos satélites armazenarem em píxeis esta energia eletromagnética na forma de um ND, em determinados comprimentos de onda.

O sensor TM do satélite Landsat-5 apresenta 8 bits de resolução radiométrica distribuída entre valores de níveis de cinza compreendidos entre 0 e 255, logo, o máximo de níveis de cinza numa imagem TM é 256 níveis (2^8).

Esses 256 níveis de cinza são números inteiros, ou seja, a imagem resultante será digital, assim, cada píxel apresenta um ND que representa a resposta espectral ou reflectância dos diferentes objectos que o compõem, ou a energia captada na zona abrangida pelo píxel, e a imagem pode ser visualizada através de uma associação com diferentes tonalidades de cinza e analisados por fórmulas matemáticas implantadas em algoritmos computacionais (classificadores).

Cada píxel tem um ND para cada banda da imagem, o que vale dizer que os ND não estão em uma mesma escala radiométrica nas diferentes bandas espectrais e um determinado valor de ND em uma banda espectral específica não corresponde a uma mesma intensidade de radiação medida pelo mesmo valor de ND em outra imagem de outra banda espectral.

A vegetação, o solo e a água, representam os objectos da superfície terrestre, que absorvem, refletem e transmitem radiação eletromagnética conforme os comprimentos de onda. A assinatura espectral é a resposta espectral própria de cada elemento, e permite o reconhecimento e identificação de padrões espectrais nas imagens (Mather, 1993).

3.2 Reflectância da Vegetação

A curva espectral da vegetação da Figura 4 representa as variações da energia reflectida pela vegetação, e mostra as influências da presença do pigmento clorofila e do conteúdo de água no interior das folhas, assim, uma época seca pode dificultar a interpretação dos resultados, pela diminuição da clorofila e do teor de água nas folhas.

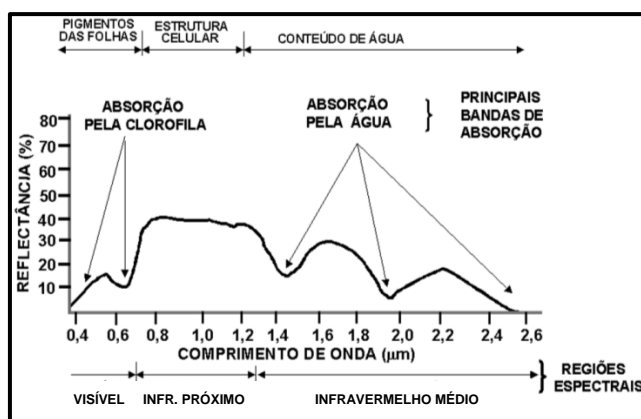


Figura 4 – Curva Espectral da Vegetação. Fonte: adaptado de Hoffer (1978)

A vegetação presente em relevo acidentado apresenta comportamento espectral diferente daquela de relevo plano, uma vez que existe a contribuição da sombra do relevo sobre a vegetação e, de superexposição, no lado do relevo voltado para o sol.

Uma vantagem do satélite Landsat-5/TM é que sua órbita é heliossíncrona, isto é, o ângulo sol-Terra-satélite permanece constante em 37,5°, o que garante condições de iluminação semelhantes ao longo do ano, na zona imageada, pois sempre recolhe informações de um mesmo local em um mesmo horário solar.

O comportamento espectral da vegetação é consideravelmente mais complexo que do solo e da água (Richards e Jia, 1999), e varia entre espécies e dentro da mesma espécie devido a características como a morfologia, a fisiologia e o teor de umidade das folhas (Chuvieco, 1996).

Também varia numa árvore se, por exemplo, partes dela estiverem total ou parcialmente expostas à luz solar (Howard, 1991).

Na região do visível (400 a 700 nm) a reflectância da vegetação é baixa nas regiões do azul (400 a 500 nm) e do vermelho (600 a 700 nm) e alta no verde (500 a 600 nm), pois a clorofila absorve de 70 a 90% da radiação do vermelho e do azul na fotossíntese (Mather, 1993), assim, o teor de clorofila é a característica mais condicionante na região do visível, em relação à reflectância da vegetação. A aparência verde das folhas é característica resultante dessa assinatura espectral.

Na região do infravermelho próximo (700 a 1350 nm) a reflectância é alta, pois a absorção da radiação eletromagnética por parte das folhas é mínima, devido à interação da radiação eletromagnética com a estrutura celular superficial das folhas. Em torno de 700 nm a reflectância passa de 5 % para 50 % e esta região ficou conhecida como borda vermelha ou *red edge*.

Na região do infravermelho médio (a partir de 1350 nm) a reflectância da vegetação depende da quantidade de água nos tecidos das folhas (estrutura celular superficial), ou seja, será maior quando as folhas perderem água.

A vegetação também pode apresentar um comportamento espectral em função do ataque de pragas e doenças, manchas de solo, etc., o que provoca alterações na quantidade de energia reflectida.

Diferentemente de uma floresta plantada, uma floresta nativa apresenta diferenças florísticas em sua composição, com árvores de diferentes arquiteturas, que certamente interferirão na relação do copado florestal com a radiação eletromagnética, o que altera os padrões presentes nas imagens de satélite.

Proporcionalmente, a reflectância de um copado florestal é menor que a de uma folha, pois no copado florestal, mesmo com a predominância de folhas, há atenuação da radiação eletromagnética pela variação dos ângulos de incidência e de visada, proveniente da arquitetura do copado florestal (Índice de Zona foliar – IAF e Distribuição Angular das Folhas – DAF), da contribuição de outros elementos do copado florestal como galhos e troncos

e pela resposta espectral da base do copado florestal, esta última chamada de reflectância de fundo (Knipling, 1970; Colwell, 1974 e Guyot et al., 1989).

Um copado florestal nativo é bastante heterogêneo, constituído de alvos (árvores) de diferentes portes e espécies, assim, a incidência da radiação solar nas árvores mais altas provoca sombreamento nas árvores menores e no sob-coberto, o que faz com que a energia reflectida pelas árvores de menor porte seja menor. Tais diferenças de intensidade de radiação nos alvos provoca alteração nos níveis de cinza da imagem, pois nos sítios onde há sombreamento o nível de cinza é mais baixo, o que resulta na impressão de rugosidade na imagem.

Em virtude da heterogeneidade entre os cobertos florestais de diferentes fitofisionomias, haverá diferença nas respostas à interação com a radiação eletromagnética, que resultarão em diferentes comportamentos espectrais, o que dificulta a interpretação, daí a importância de se trabalhar com a mesma formação florestal.

As folhas das dicotiledôneas possuem mesófilo esponjoso mais desenvolvido que das monocotiledôneas, assim, para uma mesma espessura, possuem reflectância maior que estas (Guyot, 1990). O mesófilo esponjoso possui muitos espaços intercelulares que reflectem a energia eletromagnética. Como a Floresta Nativa Amazônica apresenta predominância absoluta de dicotiledôneas, tal condição auxilia na melhor reflectância deste tipo de floresta em condições normais de clima.

3.3 Reflectância do Solo

Como os solos apresentam baixa reflectância na região do visível, que aumenta gradativamente à medida que o comprimento de onda aumenta (Caetano et al., 2002), aumentarão sua influência na reflectância da região do infravermelho médio, onde é fácil a diferenciação entre zonas vegetadas e pouco vegetadas, embora também aqui a umidade do solo afete a resposta espectral.

Segundo Pantoja (2010) a banda 3 do satélite Landsat-5/TM realça o brilho do solo e detecta pequenas zonas de solo exposto, como aquelas resultantes da abertura de pátios de estocagem de toras (esplanada), por exemplo. Desta forma, é possível classificar os píxeis que sejam pátios em potencial. Os pátios de estocagem apresentam zona média de 380 m², distribuídos numa distância de 460 metros, em média.

Tais pátios de estocagem têm representação pontual nas imagens com 20 a 30 metros de resolução, enquanto as estradas apresentam feições lineares, daí a dificuldade de se detectar corte seletivo em zona com exploração inferior a 380 m².

3.4 Classificação de Imagens de Satélite

A identificação da ocupação do solo é baseada exclusivamente nos dados espectrais recolhidos nas várias bandas do sensor do satélite, onde o algoritmo de classificação atribui a cada píxel da imagem uma determinada classe, reconhece padrões (assinaturas) espectrais com a finalidade de mapear zonas de interesse a partir de amostras de teste.

O desempenho do algoritmo depende das características da imagem e do método de amostragem das amostras de teste que, aliás, é um dos grandes entraves ao se comparar imagens classificadas por diferentes utilizadores, pois cada um utilizará sua metodologia pessoal, o que produzirá muitas vezes discrepâncias de resultados mesmo quando se utiliza o mesmo algoritmo.

As amostras de teste, além de representativas de cada classe devem ser homogêneas, ou seja, na amostragem, são editados os polígonos de cada classe através da interpretação visual, à partir dos quais se inferem propriedades típicas da vegetação, como cor, tonalidade, forma, textura, padrão e contexto, com a utilização dos conhecimentos do analista e, de maneira que se distribua os polígonos por toda a imagem.

Os dados captados pelos sensores, após a classificação são convertidos em classes temáticas e o produto final (*output*) é um mapa temático (formato *raster*), onde a unidade mínima cartográfica (UMC) ou zona mínima passível de representação no mapa é a zona do píxel. O mapa temático mostra a distribuição geográfica das classes temáticas, onde cada píxel tem um código que traduz uma determinada classe de ocupação de solo.

Pantoja (2010), após utilizar imagens de alta resolução para buscar a verdade no terreno para imagens de média resolução HRC/CBERS-2B e Landsat/TM, relatou que os estudos já publicados e que tratam do corte seletivo na Floresta Amazônica têm suas avaliações limitadas por falta da verdade no terreno, não obtida devido à dificuldade na aquisição dos dados dos limites das zonas de manejo florestal e à dificuldade de se obter informações de explorações florestais ilegais, porém, para este trabalho, os dados dos perímetros dos planos de manejo se encontram disponíveis na base de dados da SEMA/MT e a aquisição das informações sobre as explorações florestais ilegais foram obtidas através de vistoria de campo, de forma a transpor gargalo dos custos e a dificuldade de se obter a verdade no terreno, uma vez que a recolha de informação das amostras é o aspecto de maior custo na classificação supervisionada ou assistida.

Inclusive, este tipo de classificação é bastante criticado devido à dificuldade e custo de se estabelecer um conjunto de zonas de treino que represente toda a variabilidade espectral de cada classe de informação (White et al., 1997), porém, é indicada quando o analista possui conhecimento, *a priori*, da zona de estudo.

4 – MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Região de Estudo

A região de estudo corresponde a propriedades rurais dos municípios de Juína e Cotriguaçu, localizados no noroeste do Estado de Mato Grosso, que foram selecionadas porque nelas foram executados projectos de PMFS aprovados pela SEMA/MT.

Cotriguaçu com 14.983 habitantes e Juína com 39.255 habitantes, conforme o senso do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) de 2010 são municípios que têm sua base económica assentada na pecuária e este último também se apresenta como polo regional madeireiro.

As zonas objectos dos exames foram vistoriadas *in loco* e os pontos de controle foram plotados na Figura 5. Essas zonas apresentam relevo plano e suavemente ondulado e coberto florestal composto por Floresta Ombrófila, que fisionomicamente representa uma formação florestal pluriestratificada, de grande porte, com copado florestal de 20 a 30 m de altura e com emergentes que atingem até 45 m e onde predominam as espécies perenifólias.

Esta formação ocorre na zona tropical mais húmida do Estado, com período seco de aproximadamente sessenta dias durante o ano (junho e julho), com precipitação bem distribuída e temperaturas elevadas, sendo, portanto, sua característica principal, a ocorrência de ambientes ombrófilos.

Segundo o Zoneamento Socioeconómico Ecológico do Estado de Mato Grosso (ZSEE/MT) – 2008, uma Floresta Ombrófila é constituída por árvores de grande porte, com folhagem permanente, associada a condições climáticas sem déficit hídrico ou com déficit hídrico em um curto período de tempo (até 60 dias durante o ano), com precipitação bem distribuída ao longo do ano e temperaturas elevadas.

Este tipo de formação florestal cobre grande parte da depressão norte do Estado de Mato Grosso, e apresenta diferenciações fisionômicas oriundas da altitude, latitude, grau de umidade do solo e de suas condições edáficas.

Nas Florestas Ombrófilas a densidade de indivíduos é mais baixa que em outros tipos de formação florestal e em zonas onde há maior frequência de cipós, as árvores encontram-se mais espaçadas.

São exemplos de espécies encontradas neste tipo de formação: Sumaúma (*Ceiba pentandra*), Angelim (*Hymenolobium excelsum*), Seringueira (*Hevea brasiliensis* e *Hevea benthonianna*), Bálsamo (*Myroxylum peruiferum*), Maçaranduba (*Manilkara uberi*), Pau-roxo (*Peltogyne densiflora*), Ipê-

amarelo (*Tabebuia serratifolia*). Entre as espécies de maior porte estão a Castanheira (*Bertholletia excelsa*) e o Angelim saia ou Paricá (*Parkia pendula*).

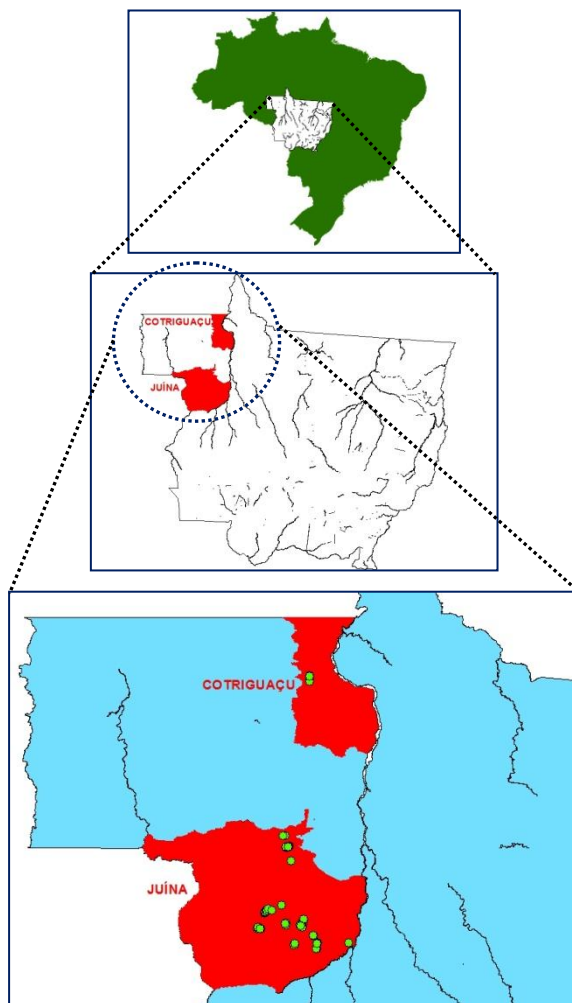


Figura 5 – Localização geográfica da zona estudada

Na zona de Juína o clima segundo a classificação internacional de Köppen-Geiger é do tipo Aw, ou seja, clima tropical chuvoso com estação seca de inverno, com três meses de seca, de junho a agosto, com precipitação anual de 2.250 mm e intensidade máxima em janeiro, fevereiro e março, com temperatura média anual de 24°C, onde predominam solos do tipo Podzólico Vermelho-amarelo.

Na zona de Cotriguaçu o clima segundo a classificação internacional de Köppen-Geiger é do tipo Aw, com dois meses de seca (junho e julho), com

precipitação anual de 2.750 mm e intensidade máxima em janeiro, fevereiro e março, com temperatura média anual de 24°C, onde predominam solos do tipo Latossolo Vermelho-amarelo.

Com base nas médias de precipitação (mm) coletadas nos municípios de Juína/MT (Estação Boteco dos Mineiros, coordenadas geográficas 11°49'07"S; 59°19'30"W), e Cotriguaçu/MT (Estação Núcleo Ariel, coordenadas geográficas 09°51'22"S; 58°14'49"W), selecionados no portal da Agência Nacional de Águas (ANA) através de seu Sistema de Informações Hidrológicas, denominado HIDROWEB - 2008, foram produzidos os gráficos das Figuras 6 e 7, dos quais se infere que o mês de julho, além de estar próximo ao solstício de inverno no hemisfério sul (em torno de 21 de junho), período de menor incidência de luz solar, também apresenta balanço hídrico negativo, ou seja, a diferença entre a quantidade de água absorvida e a água transpirada é negativa.

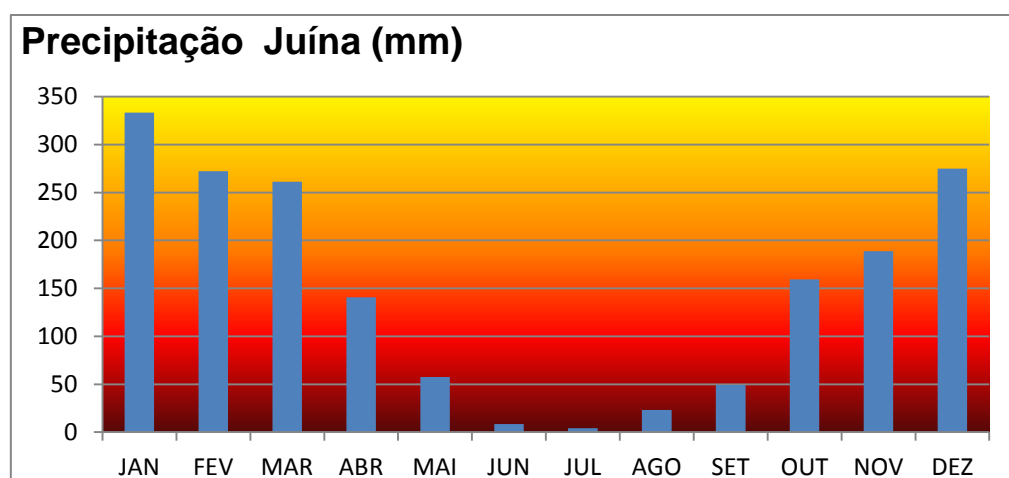


Figura 6 – Gráfico da média de precipitação de Juína/MT (HIDROWEB, 2008)

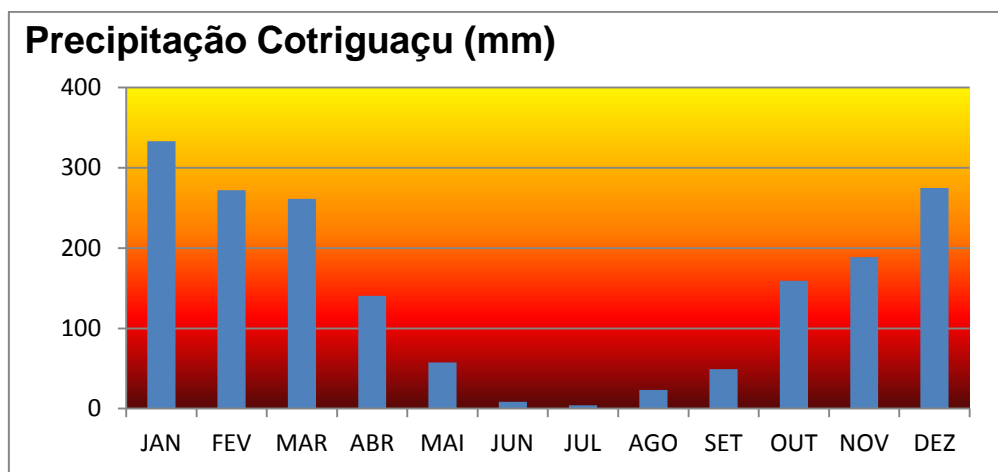


Figura 7 – Gráfico da média de precipitação de Cotriguaçu/MT (HIDROWEB, 2008)

4.2 Coleta de Dados de Campo

A verdade no terreno foi adquirida através de um trabalho de campo que identificou 125 alvos terrestres, de significativa importância para o trabalho proposto, pois foram utilizados como indicadores na caracterização da classe “Alterada” ou “zona com alteração do copado florestal”. Tais padrões (alvos) observados foram registados através de fotografias que permitiram a identificação de pátios, estradas, árvores abatidas (tocos) e do copado florestal dos sítios onde foram detectados os tocos, os quais foram georreferenciados com GPS Garmin modelo 60 CSX com precisão entre 5 e 15 metros (aproximadamente meio píxel).

A Figura 8 mostra um mapa de exploração de um PMFS e identifica as características dos alvos que podem ser encontrados nas vistorias de campo, tais como, os carregadores através dos quais as toras são arrastadas pelos *skidders* até os pátios de estocagem (esplanadas), bem como, o modelo da estrutura de um projecto de manejo florestal que consiste na subdivisão da zona a ser explorada em faixas e a identificação das árvores inventariadas.

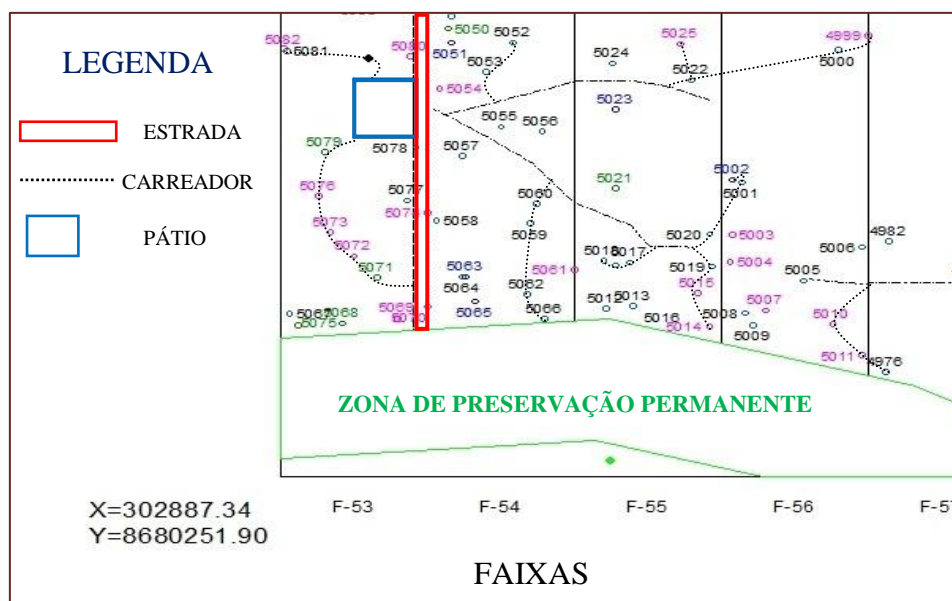


Figura 8 – Mapa de exploração de um PMFS

As coordenadas geodésicas, datum WGS 84, dos pontos de controle coletadas em campo, foram registadas na planilha de campo da Tabela 1. Em seguida, foi construída uma planilha com estas coordenadas e demais atributos, que foi transformada em um ficheiro *shape* de pontos no ArcMap 10.0.

Estes dados podem ser denominados de “verdade no terreno”, pois permitirão a avaliação da exactidão dos resultados finais deste estudo, de forma a assegurar níveis de classificações mais satisfatórios das Imagens Diferença NDVI a serem produzidas no final deste trabalho, bem como dos mapas temáticos oriundos destas imagens, que serão validados através da utilização de Matriz de Erros. Tais procedimentos podem ser evidenciados em vários estudos já produzidos referentes à exploração florestal.

Tabela 1 – Sítios visitados e suas coordenadas geodésicas

Alvo	Latitude	Longitude	Data	Referência
1	-11,9049	-59,0143	22/07/11	Toco
2	-11,9001	-59,0125	22/07/11	Copado florestal
3	-11,9040	-59,0113	22/07/11	Toco
4	-11,9073	-59,0163	22/07/11	Toco
5	-11,9073	-59,0162	22/07/11	Copado florestal
6	-11,9077	-59,0166	22/07/11	Copado florestal
7	-11,9001	-59,0125	22/07/11	Toco
8	-11,6011	-59,2931	16/04/11	Carreador antigo
9	-11,6063	-59,2999	16/04/11	Estrada
10	-11,6051	-59,2997	16/04/11	Toco antigo
11	-11,6032	-59,3001	16/04/11	Mata secundária
12	-11,6036	-59,2976	16/04/11	Toco antigo
13	-11,6036	-59,2966	16/04/11	Toco antigo
14	-11,6027	-59,2958	16/04/11	Toco antigo
15	-11,6023	-59,2952	16/04/11	Carreador antigo
16	-11,6026	-59,2938	16/04/11	Copado florestal
17	-11,6024	-59,2937	16/04/11	Copado florestal
18	-11,5982	-59,2935	16/04/11	Barragem
19	-11,5976	-59,2939	16/04/11	Copado florestal
20	-11,5969	-59,2938	16/04/11	Copado florestal
21	-11,5829	-59,2844	16/04/11	Copado florestal
22	-11,5827	-59,2805	16/04/11	Pátio
23	-11,5708	-59,2631	16/04/11	Pátio
24	-11,5708	-59,2630	16/04/11	Estrada
25	-11,5653	-59,2600	16/04/11	Pátio
26	-11,5780	-59,2275	16/04/11	Estrada
27	-11,5348	-59,1364	16/04/11	Pátio
28	-11,9477	-58,8039	19/07/11	Pátio
29	-11,9478	-58,8035	19/07/11	Pátio
30	-11,9481	-58,8018	19/07/11	Toco
31	-11,9472	-58,8040	19/07/11	Pátio
32	-11,9475	-58,8044	19/07/11	Toco
33	-11,9473	-58,8059	19/07/11	Pátio
34	-11,9470	-58,8063	19/07/11	Toco
35	-11,9465	-58,8063	19/07/11	Toco
36	-11,9461	-58,8063	19/07/11	Pátio
37	-11,9461	-58,8065	19/07/11	Toco
38	-11,9467	-58,8071	19/07/11	Toco
39	-11,9466	-58,8074	19/07/11	Toco
40	-10,9781	-59,0659	20/07/11	Copado florestal
41	-10,9731	-59,0635	20/07/11	Toco

42	-10,9734	-59,0604	20/07/11	Mata secundária
43	-10,9731	-59,0601	20/07/11	Copado florestal
44	-10,9731	-59,0600	20/07/11	Toco
45	-10,9747	-59,0650	20/07/11	Cecrópias
46	-10,9800	-59,0650	20/07/11	Copado florestal
47	-10,9804	-59,0642	20/07/11	Copado florestal
48	-10,9797	-59,0750	18/07/11	Toco
49	-10,9832	-59,0843	18/07/11	Pátio
50	-10,9825	-59,0952	18/07/11	Copado florestal
51	-10,9825	-59,0951	18/07/11	Toco
52	-10,9820	-59,0969	18/07/11	Copado florestal
53	-10,9820	-59,0968	18/07/11	Toco
54	-10,9816	-59,0975	18/07/11	Toco
55	-10,9815	-59,0975	18/07/11	Copado florestal
56	-10,9815	-59,0975	18/07/11	Toco
57	-10,9797	-59,0750	18/07/11	Copado florestal
58	-10,9800	-59,0745	18/07/11	Copado florestal
59	-10,9797	-59,0750	18/07/11	Toco
60	-10,9817	-59,0846	18/07/11	Cecrópias
61	-10,9830	-59,0844	18/07/11	Pátio
62	-10,9827	-59,0942	18/07/11	Toco
63	-10,9827	-59,0949	18/07/11	Toco
64	-10,9824	-59,0966	18/07/11	Toco
65	-10,9815	-59,0975	18/07/11	Toco
66	-10,9802	-59,0744	18/07/11	Pátio
67	-9,3861	-58,8693	22/07/10	Pátio
68	-9,3851	-58,8691	22/07/10	Toco
69	-9,3848	-58,8690	22/07/10	Toco
70	-9,3848	-58,8681	22/07/10	Pátio
71	-9,4073	-58,8683	22/07/10	Copado florestal
72	-9,4072	-58,8684	22/07/10	Copado florestal
73	-9,4072	-58,8695	22/07/10	Pátio
74	-9,3505	-58,8673	22/07/10	Estrada
75	-9,3526	-58,8676	22/07/10	Carreador antigo
76	-9,3557	-58,8675	22/07/10	Estrada
77	-9,3570	-58,8676	22/07/10	Carreador antigo
78	-9,3599	-58,8680	22/07/10	Carreador antigo
79	-11,7126	-58,9396	15/04/11	Copado florestal
80	-11,7126	-58,9400	15/04/11	Cecrópias
81	-11,7139	-58,9447	15/04/11	Copado florestal
82	-11,7133	-58,9438	15/04/11	Carreador antigo
83	-11,7133	-58,9439	15/04/11	Copado florestal
84	-11,7124	-58,9382	15/04/11	Copado florestal

85	-11,7122	-58,9373	15/04/11	Copado florestal
86	-11,7122	-58,9371	15/04/11	Copado florestal
87	-11,7120	-58,9366	15/04/11	Copado florestal
88	-11,7095	-58,9358	15/04/11	Barragem
89	-11,7079	-58,9361	15/04/11	Estrada
90	-11,6991	-58,9378	15/04/11	Mata secundária
91	-11,6970	-58,9384	15/04/11	Toco
92	-11,6943	-58,9387	15/04/11	Estrada
93	-11,8275	-58,8287	13/04/11	Pátio
94	-11,8875	-58,7968	13/04/11	Toco
95	-11,8904	-58,8010	13/04/11	Pátio
96	-11,8982	-58,8011	13/04/11	Pátio
97	-11,8982	-58,8010	13/04/11	Córrego
98	-11,8186	-58,8347	13/04/11	Pátio
99	-11,7094	-59,1018	21/07/11	Pátio
100	-11,7110	-59,0992	21/07/11	Copado florestal
101	-11,7114	-59,0986	21/07/11	Pátio
102	-11,6977	-59,0968	21/07/11	Pátio
103	-11,7163	-59,0938	21/07/11	Pátio
104	-11,7195	-59,0966	21/07/11	Pátio
105	-11,7103	-59,1019	21/07/11	Copado florestal
106	-11,7414	-59,3558	18/04/11	Copado florestal
107	-11,7404	-59,3553	18/04/11	Estrada
108	-11,7403	-59,3553	18/04/11	Copado florestal
109	-11,7400	-59,3551	18/04/11	Estrada
110	-11,7393	-59,3538	18/04/11	Estrada
111	-11,7426	-59,3562	18/04/11	Toco
112	-11,7579	-59,3376	19/04/11	Toco
113	-11,7594	-59,3369	19/04/11	Toco
114	-11,7475	-59,3449	19/04/11	Copado florestal
115	-11,7474	-59,3449	19/04/11	Pátio
116	-11,7463	-59,3471	19/04/11	Copado florestal
117	-11,7462	-59,3472	19/04/11	Copado florestal
118	-11,7551	-59,3674	19/04/11	Pátio
119	-11,7544	-59,3663	19/04/11	Toco
120	-11,7526	-59,3640	19/04/11	Copado florestal
121	-11,7447	-59,3621	19/04/11	Pátio
122	-11,7425	-59,3593	19/04/11	Estrada
123	-11,7423	-59,3593	19/04/11	Pátio
124	-11,7413	-59,3584	19/04/11	Estrada
125	-11,7581	-59,3376	19/04/11	Copado florestal

4.3 Análise multitemporal das Imagens Landsat-5/TM utilizadas

A análise multitemporal das imagens Landsat-5/TM utilizadas consistiu na extração das informações obtidas de um mesmo local e de dois anos consecutivos de observação, e se considera que o ano-base seria aquele da data da vistoria em campo, nos sítios onde foram constatadas alterações do copado florestal. As datas das imagens de satélite foram escolhidas de forma a considerar as datas das fotografias; as cenas Landsat-5/TM com correção geométrica e resolução espacial de 30 metros foram escolhidas conforme as informações das coordenadas dos pontos de controle obtidas de GPS, ou seja, das feições recolhidas como verdade no terreno para este estudo e nas características fundamentais de baixa quantidade de nuvens e fumo.

Na utilização de imagens de diferentes anos buscou-se aquelas que possuíam datas de aquisição as mais próximas possíveis, para que as diferenças provocadas pela iluminação, elevação solar, azimuth solar, hora do dia, condições atmosféricas e meteorológicas, sejam minimizadas (Nunes, 2007).

A reflectância de um píxel é o resultado da soma das reflectâncias dos componentes da cena, tais como, o solo exposto, folhas secas, arbustos, tocos e sombra das árvores, por exemplo, assim, se tomarmos o solo exposto como o componente de menor reflectância, quanto mais próximo da data da exploração do local a imagem for produzida, muito maiores as chances de obter resultados mais fidedignos, ou seja, menores as chances de se classificar um píxel erroneamente.

Em virtude da facilidade de aquisição e da disponibilidade de dados históricos, foram utilizadas as imagens Landsat-5/TM (185 x 185 km), resolução radiométrica de 8 bits, órbita-ponto 229-66, dos dias 10 de julho de 2009 e 13 de julho de 2010 e órbita-ponto 229-068, dos dias 08 de abril de 2010, 13 de julho de 2010, 27 de abril de 2011 e 01 de agosto de 2011. Seus parâmetros estatísticos estão registados na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros estatísticos das imagens Landsat-5/TM utilizadas

DATA	CENA	BANDA	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
10/07/2009	229-66	3	9,67	7,09
10/07/2009	229-66	4	44,86	31,24
13/07/2010	229-66	3	11,68	10,22
13/07/2010	229-66	4	46,61	31,98
08/04/2010	229-68	3	24,41	33,44
08/04/2010	229-68	4	58,80	43,36
27/04/2011	229-68	3	19,94	21,44
27/04/2011	229-68	4	52,80	37,23
13/07/2010	229-68	3	23,06	33,11
13/07/2010	229-68	4	49,29	38,27
01/08/2011	229-68	3	14,22	11,67
01/08/2011	229-68	4	47,22	32,24

Tais imagens, com projeção cartográfica UTM, datum WGS-84, são disponibilizadas gratuitamente através da Divisão de Geração de Imagens do INPE (DGI-INPE), pelo catálogo eletrônico disponibilizado pelo INPE no sítio <http://www.dgi.inpe.br/CDSR>.

O processamento das imagens foi realizado com o software ArcGis 10.0 da Esri, fornecido pelo Instituto Superior de Estatística e Gestão de Informação da Universidade Nova de Lisboa (ISEGI – UNL). O banco de dados geográfico foi definido através do sistema de projeção UTM, fuso 21, datum WGS 84, com o intuito de facilitar o cálculo de área e distância e para que as imagens e os vetores estejam no mesmo sistema de projeção.

As técnicas de interpretação visual ou fotointerpretação ainda são comumente utilizadas para a detecção de cortes na floresta, pois sua grande vantagem é a capacidade do sistema visual humano de detectar feições, sendo capaz de fornecer estimativas bastante precisas dos padrões de desmatamento seletivo, mas a experiência do intérprete, que utilizará elementos da fotointerpretação, como a forma, a característica do relevo, a textura, presença de sombra, cor, tonalidade, somada ao resultado do processamento da imagem podem conduzir a erros subjetivos e a uma interpretação equivocada dos padrões obtidos, além do mais, a velocidade de interpretação limita o desempenho deste tipo de classificação.

Os métodos semiautomáticos mesclam o método anterior com técnicas automáticas mais simples, o que acelera o processamento dos dados, evita que explorações florestais direccionadas a poucos indivíduos ou em sua fase inicial sejam desconsideradas pelo intérprete, assim, posteriormente, com a intervenção humana para interpretar visualmente os dados, pode-se corrigir erros e refinar a classificação automática.

No uso das imagens de satélite de média resolução como é o caso do sensor TM, a interpretação das feições ou classes espectrais nunca é feita de maneira direta, assim, a associação dessas feições com as classes de uso e ocupação do solo do mundo real é feita de maneira dedutiva, com a utilização de outros conhecimentos para que se consiga gerar um mapa temático.

Segundo Pantoja (2010) é possível que zonas de florestas submetidas ao corte seletivo sejam interpretadas em imagens de satélite de média resolução, com base na observação de pátios e estradas, o que actualmente se traduz em duas abordagens para monitoramento de corte seletivo: a abordagem direta que detecta as alterações do copado florestal e a abordagem indireta que procura detectar as estradas de acesso e os pátios de estocagem de madeira.

Este último tipo de abordagem talvez seja actualmente o que está a receber as maiores atenções por parte dos pesquisadores, pois pode permitir a produção de metodologias capazes de em curto período de tempo detectar cortes seletivos da floresta, uma vez que não há como se executar uma exploração sem a construção de estradas de acesso.

4.4 Georreferenciamento das Imagens Landsat-5/TM utilizadas

Os erros sistemáticos (previsíveis) das imagens de satélite estão ligados ao movimento de rotação e curvatura da Terra, mas que são corrigidos pelo fornecedor das imagens antes de chegarem ao utilizador (Nunes, 2007).

O georreferenciamento das imagens Landsat-5/TM foi realizado de imagem para imagem, com a importação dos mosaicos georreferenciados Geocover, gerados a partir de imagens ortorretificadas Landsat-7, RGB 742, fusionadas com a banda pancromática 8 (*pan-sharpened*), sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*), projeção cartográfica UTM, datum WGS-84, com resolução espacial de 14,25 metros, (com as áreas de estudo), que serviram de referência e que podem ser adquiridas gratuitamente no sítio <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/mrsid/pl>. Posteriormente, utilizou-se o software ArcGis 10.0 para geração e manipulação dos dados.

O Projeto Geocover contém imagens Landsat da série dos sensores TM (Landsat-5) e TM+ (Landsat-7) com abrangência mundial. É um mosaico com imagens ortorretificadas na extensão *.sid*, ou seja, ficheiros Multi-resolution Seamless Image Database ou Mister SID (MrSID).

Foram coletados 23 pontos de controle para cada imagem Landsat-5/TM, onde se incluiu os pontos de controle coletados no trabalho de campo, como referência. O erro médio quadrático (RMSE – *root mean square error*) das imagens georreferenciadas foi de no máximo 0,5 píxel ou 15 metros.

4.5 Índices de Vegetação

Os índices de vegetação consistem de transformações matemáticas que quantificam a contribuição espectral da vegetação em observações multiespectrais (Chen et al., 1986), por isto, são denominados de índices espectrais de vegetação.

No cálculo dos índices de vegetação efetua-se uma redução das informações de diversas bandas espectrais para uma única banda, o que permite obter informações qualitativas e quantitativas da vegetação abrangida pela imagem (Jensen, 1996 e Caetano, 2002). Tal condição melhora a relação dos dados espectrais com os parâmetros da vegetação.

Segundo Chen et al. (1986), Vygodskaya et al. (1989) e Wiegand et al. (1974), os índices de vegetação permitem reduzir a dimensão das

informações multiespectrais para um simples número e ainda minimizam o impacto das condições de visada e de iluminação.

São capazes de criar imagens artificiais a partir da aplicação de operadores na combinação de bandas originais (CCRS, 2003), e se transformam em um ótimo instrumento para a extração de informações das imagens de satélite (Caetano, 2002).

Desta forma, os índices de vegetação foram criados para diminuir o número de variáveis presentes nas medidas multiespectrais e sua utilização é uma estratégia importante para monitorar com baixo custo operacional as condições de desenvolvimento da vegetação e as alterações antrópicas e naturais de grandes zonas verdes.

Segundo Wiegand et al. (1974) os índices de vegetação são o resultado de transformações lineares da reflectância de duas ou mais bandas espectrais, através da razão entre bandas, da soma, da diferença ou de qualquer outro tipo de combinação.

Os índices de vegetação apresentam como vantagem a possibilidade de se explorar a região do visível (banda do vermelho), onde há baixa reflectância da vegetação, devido à presença dos pigmentos clorofila nas folhas (absorvem muito bem a radiação azul e a vermelha) e também explorar a região do infravermelho próximo, que apresenta alta reflectância da vegetação, devido à estrutura interna das folhas.

Devido a essas características esses índices podem ser relacionados com o comportamento espectral da vegetação, devido ao comportamento antagônico existente na resposta espectral dessas bandas em relação à vegetação, o que cria um contraste de reflectância na imagem produzida.

Esses índices estão relacionados com parâmetros biofísicos do coberto florestal, como biomassa e índice de zona foliar, além de minimizarem os efeitos de iluminação da cena, da geometria de aquisição e da declividade da superfície, que são características que influenciam os valores de reflectância da vegetação (Ponzoni, 2007). Os índices de vegetação para a detecção de alterações enfatizam as diferentes respostas espectrais de

diferentes elementos e reduzem o impacto topográfico e de iluminação (Lu, et al., 2004; Desclée, 2006).

As condições atmosféricas (Kaufman e Tanré, 1992; Pereira, 1999) e o solo (Huete, 1988; Pereira, 1999) são os principais problemas que podem afetar os índices de vegetação e, por este motivo, neste trabalho serão utilizados recortes de imagens Landsat-5/TM que apresentem a menor quantidade de nuvens e fumo possível, pois na melhor época para aquisição de imagens ópticas para a região em estudo (junho e julho), também é a época de maior quantidade de fumo proveniente dos incêndios florestais, devido à baixa umidade realtiva do ar.

A atmosfera tem sua importância, por apresentar propriedades seletivas de absorção e espalhamento dos diversos comprimentos de onda por parte dos aerossóis, vapor d'água e ozônio. Como as zonas de estudo apresentam relevo plano ou suave, também não é necessário a criação de estratégias para a diminuição do efeito topográfico.

4.6 NDVI

O NDVI é um índice de vegetação correlacionado com a resposta espectral do solo e da vegetação. Este índice é o resultado de uma operação aritmética que consiste na razão das bandas espectrais do vermelho e do infravermelho próximo, referentes à mesma cena, para formar uma nova imagem.

Segundo Baret, Guyot e Major (1989) estas bandas foram escolhidas porque estão presentes na maioria dos satélites e contêm mais de 90% da informação espectral da vegetação. Para Jensen (1996) e Lyon et al. (1998) os comprimentos de onda do vermelho e do infravermelho têm sido os mais utilizados porque há contraste de reflectância entre eles e há relação com as características da vegetação.

É o índice de maior utilização, principalmente na avaliação de zonas onde ocorreram incêndios florestais (e.g., Salvador et al., 2000; Sunar e Özkan,

2001), mas devido ao seu elevado grau de correlação, também permite monitorar a presença de biomassa verde (actividade fotossintética), seu vigor, sua fitofisionomia, seus perfis temporal e sazonal e as características de sua distribuição espacial, o que auxilia na detecção de desmatamentos e dá suporte na previsão da produtividade agrícola.

Segundo Knipling (1970), em estresse de água (época seca do ano) as mudanças da reflectância são mais pronunciadas na região do visível do que no infravermelho próximo, em virtude da maior sensibilidade da clorofila aos distúrbios fisiológicos.

O estresse pode chegar ao ponto de provocar a perda de folhas, o que reduz a zona foliar total exposta ao sensor. Neste caso, haverá tendência de redução da reflectância do infravermelho próximo em relação à reflectância da região do visível, devido à diminuição do realce do infravermelho próximo e ao aumento da exposição do solo.

O teor de clorofila das folhas sofre alterações conforme o ciclo fenológico da vegetação, assim, por este índice tal circunstância pode ser detectada como alteração de ocupação do solo, porém, neste trabalho as alterações fenológicas serão pouco relevantes, pois as zonas objectos de estudo apresentam fitofisionomia de Floresta Ombrófila, que possuem a característica de não sofrerem muitas alterações fenológicas devido ao pequeno interstício seco das regiões onde ocorrem e à sua característica perenifólia.

Muitas superfícies naturais se apresentam igualmente brilhantes, tanto na banda do vermelho quanto na do infravermelho próximo do espectro eletromagnético, com a notável excepção da vegetação verde. Tal característica serve de referência na resposta ao índice NDVI.

A vegetação tem reflectância normalmente baixa na banda visível (azul, verde e vermelho) e alta no infravermelho próximo, assim, uma vegetação sadia, em pleno crescimento, tem baixa reflectância na faixa do vermelho, e alta reflectância no infravermelho próximo e, deste modo alto valor de NDVI.

Na região do infravermelho próximo a absorção pelas folhas é muito baixa e a reflectância pode chegar a 50%, a depender da estrutura anatômica foliar (Tucker e Garrett, 1977). Segundo Knippling (1970), Hoffer (1978) e Guyot et al. (1989), no mesófilo foliar ocorrem múltiplas reflexões e refrações da energia eletromagnética relacionadas à descontinuidade entre os índices de refração do ar e das paredes celulares hidratadas.

Diversos autores já comprovaram que existem vários factores que afetam a energia reflectida pelas folhas na região do infravermelho próximo, que é diretamente influenciada pelas propriedades ópticas das folhas, que por sua vez dependem diretamente das estruturas celulares como as mitocôndrias, ribossomos, núcleos e da presença de lignina, celulose, amido, açúcares e pigmentos carotenoides. Indiretamente também é afetada pela idade, pubescência, quantidade de ar e água, a posição da folha e a presença de sombra.

Outro factor relevante é que uma zona de floresta primária (clímax) apresenta naturalmente maior quantidade de sombras em seu copado florestal, que provocam a diminuição de seus valores de NDVI, o que tende a comprometer a relação direta existente entre este índice de vegetação e a biomassa.

Segundo Colwell (1974) e Daughtry et al. (2004), tal condição é atenuada pela constatação de que na região do infravermelho próximo o sombreamento não é tão pronunciado como ocorre na região do visível, em virtude do múltiplo espalhamento e da baixa absorção por parte dos pigmentos nesta faixa espectral.

No início da fase de senescência das folhas, em virtude da degradação da clorofila, a absorção da radiação eletromagnética diminui, o que provoca o aumento da reflectância da região do visível. Com a evolução da senescência e a morte das células há um aumento dos espaços intercelulares, o que aumenta a reflectância da região do infravermelho próximo (Moreira, 1997).

As curvas espectrais de dois ou mais tipos de vegetação podem apresentar diferenças marcantes na banda do infravermelho próximo entre 700 e 900 nm (Moreira, 2011). Tal sensibilidade se explica pela característica de que nesta região há maior reflectância das folhas verdes e saudáveis.

Se imaginarmos um copado florestal como várias camadas de folhas, a reflectância na região do visível diminui com o aumento do número de camadas e na região do infravermelho próximo, a reflectância aumenta com o aumento do número de camadas. Porém, quando se trabalha com cobertos florestais o mais importante seja o IAF e não o número de camadas de folhas, para expressar a quantidade de folhas existentes.

Em virtude de resultar de um coeficiente de bandas, o NDVI é o índice de vegetação menos afetado pela topografia quando comparado com outras técnicas (Lyon et al. 1998).

O NDVI é um processo de transformação espectral, que se utiliza para modificar os atributos espectrais das imagens de satélite. Estas transformações permitem evidenciar determinadas características que são pouco realçadas nas imagens originais.

Em seu cálculo são utilizados os valores das reflectâncias, pois sua fórmula é a razão entre a diferença das reflectâncias das bandas do infravermelho próximo e do vermelho do espectro eletromagnético, pela soma dessas mesmas reflectâncias:

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - \text{VER}}{\text{IVP} + \text{VER}}^2$$

Onde: IVP = banda do infravermelho próximo e VER = banda do vermelho

Essas duas bandas espectrais foram selecionadas em razão de serem mais afetadas pela absorção da clorofila presente na folhagem da vegetação verde e, conseqüentemente, pela densidade dessa vegetação no copado florestal.

² Equação com denominador 0 deverá tomar o valor de 0.

Na região do visível foi escolhida apenas a banda do vermelho em virtude de que nesta banda espectral há relativa menor influência dos efeitos da atmosfera, devido ao seu menor comprimento de onda e maior absorção da radiação eletromagnética pela ação da clorofila, em relação às demais bandas da região do visível.

A banda do infravermelho próximo é mais sensível às alterações moderadas do copado florestal. Nesta banda, as zonas vegetadas são representadas por tons de cinza mais claro, o que proporciona um bom contraste entre o solo e a vegetação, principalmente se o solo for argiloso.

Rouse et al. (1973) normalizaram a razão simples para o intervalo de -1 a +1, e propuseram o NDVI. A gama de variação dos valores de NDVI está compreendida entre estes valores, o que permite uma melhor interpretação dos resultados (Caetano, 2002). Os valores compreendidos entre 0 e -1 (negativos) indicam zonas sem vegetação (solo exposto ou afloramentos rochosos), alvos urbanos (zona construída), nuvens e a presença de água (riachos, pequenos açudes e solos úmidos), pois estes alvos tem reflectância maior na banda do vermelho que na banda do infravermelho e o valor próximo de 1 indica exuberância na vegetação, ou seja, as zonas cobertas por vegetação seriam responsáveis pelos maiores valores de brilho.

Desta forma, nas imagens NDVI, os níveis de cinza encontram-se escalonados entre valores que variam entre -1 e +1, sendo que os píxeis com tons de cinza mais claro expressam valores que representam altos índices de vegetação (positivos), enquanto os níveis de cinza mais escuro representam baixos índices de vegetação (negativos) ou pequena quantidade de vegetação fotossinteticamente ativa.

Segundo Huete e Tucker (1991), devido à grande variabilidade das propriedades ópticas do solo, não se pode definir uma faixa rigorosa de valores de NDVI para solos com pouco ou nenhum coberto florestal. Para Shimabukuro et al. (1999), o contraste da informação espectral do solo na região do infravermelho próximo e do vermelho não é tão significativo quanto

ao obtido com a vegetação. Para um coberto florestal entre 20 a 80%, o valor de NDVI varia na proporção direta com a umidade do solo (Todd e Hoffer, 1998).

Para Huete e Tucker (1991) os solos expostos apresentam valores de NDVI entre 0,05 e 0,30, porém, não é possível definir uma faixa de valores de NDVI para solos expostos. Vale salientar que o aumento dos valores de NDVI máximos e da média são características do aumento do coberto florestal.

4.7 Georreferenciamento das Imagens NDVI

Para não perder precisão o georreferenciamento das imagens NDVI só deverá ser efetuado após a transformação espectral da imagem por este índice de vegetação, para evitar a alteração dos valores espectrais com a reamostragem da imagem (Jensen, 1996).

No georreferenciamento há necessidade de que os píxeis se encontrem tanto quanto possível sobrepostos. O erro médio quadrático deve ser de no máximo 0,5 píxel (Jensen, 1996).

4.8 Subtração de Imagens NDVI

Os modelos matemáticos presentes no ArcGis 10.0 permitem visualizar as imagens NDVI com tonalidades diferentes, porém, nosso interesse está em ampliar as diferenças visuais no comportamento dos alvos.

Desta forma, a Subtração de Imagens NDVI apresenta-se como metodologia com grande potencial para as necessidades de controle, monitoramento e prevenção do desmatamento, tendo em vista a necessidade de gerar indicativos de corte seletivo com o uso de processamentos rápidos, com considerável grau de confiabilidade.

Para a detecção de alterações que compõem a dinâmica do copado florestal nativo, neste trabalho foram executadas algumas Subtrações de Imagens NDVI. Esta metodologia consiste na detecção de mudanças ocorridas no

coberto florestal e no uso dos solos, ou seja, consiste basicamente na subtração pixel a pixel de duas imagens de datas diferentes, com a produção de uma terceira imagem. Da diferença entre a imagem do ano mais recente e a do ano mais distante, se conclui sobre a perda ou ganho de NDVI.

Imagem Diferença = NDVI ano 2 – NDVI ano 1

A imagem resultante do cálculo da diferença dos valores de NDVI entre imagens de anos consecutivos deverá traduzir as alterações de vegetação, desde as mais sutis às mais facilmente observáveis, ocorridas entre as duas datas, o que permite obter resultados de comparações interanuais dos perfis das actividades da vegetação, ou seja, a redução de actividade fotossintética de um ano para o outro, pode significar extração florestal, que pode ser ilegal, daí a importância do acompanhamento deste tipo de informação por parte dos órgãos gestores e fiscalizadores da actividade de exploração madeireira.

As imagens NDVI devem ser preferencialmente ou talvez necessariamente da mesma época, a fim de diminuir a influência das alterações climáticas e do ângulo zenital de visada nos resultados. Como este é um método mais simples e que apresenta boas performances, ele é preferível a outras técnicas mais sofisticadas (Singh, 1989).

A importância da escolha correcta das datas das imagens se deve à condição de que uma zona de Floresta Ombrófila que foi recentemente explorada, rapidamente inicia seu processo de regeneração, desde que haja umidade suficiente no solo para tal.

Em virtude deste tipo de formação florestal ocorrer em zonas de precipitações constantes e com período seco muito curto, tal condição fará com que os valores de NDVI sejam elevados mais facilmente nos sítios que sofreram exploração e, por consequência, as formações florestais secundárias sucessoras apresentarão maiores valores de NDVI que as florestas primárias (florestas clímax), devido à intensa actividade fotossintética daquelas formações.

Na nova imagem resultante da subtracção de NDVIs de dois momentos diferentes para um mesmo local os píxeis mais claros representam valores positivos e os escuros negativos. Quanto maiores forem os valores positivos, maiores são os ganhos de NDVI e quanto maiores os valores negativos significa maiores perdas de NDVI, sendo que valores próximos a zero mostram zonas onde não houve mudanças significativas.

Em relação à vegetação os valores positivos ocorrem nos lugares onde houve acréscimo de biomassa, os negativos nos lugares onde houve decréscimo de biomassa e os valores nulos nos lugares onde não ocorreram mudanças. O estresse hídrico na vegetação faz com que os valores de NDVI sejam menores.

Foram utilizadas duas imagens de anos consecutivos para cada talhão, sempre de forma a utilizar como a imagem mais recente aquela com data de passagem o mais próxima possível das fotografias dos sítios objectos dos exames e com menor coberto de nuvens possível, como forma de garantir a fidelidade dos resultados.

Desta forma, trabalhou-se com uma imagem anterior à extração e outra após, com excepção do Talhão “1”, onde foram utilizadas duas imagens de datas posteriores à extração de madeira, pois a exploração da zona havia sido realizada há mais de um ano da data da vistoria.

4.9 Recortes das Imagens Diferença NDVI

Para que fossem analisados apenas os valores de Diferenças NDVI das zonas de interesse, fez-se necessário recortar as imagens, e a máscara para tal, foram os vetores de delimitação das regiões de interesse, que foram gerados com o objectivo de garantir que os píxeis a serem analisados sejam os mesmos para todas as imagens e datas, pois isto é imprescindível para uma análise multitemporal das zonas com desmatamento seletivo. Tal análise deve estar livre de condições que gerem alterações artificiais que podem estar ligadas a características circunstanciais de cada uma das imagens.

As máscaras das zonas de estudo das imagens Landsat-5/TM de diferentes datas devem apresentar a mesma geometria e o mesmo número de píxeis no momento de analisar as alterações da classe floresta (desmatamento seletivo), uma vez que a depender da amplitude dos dados amostrados de um ambiente SIG, os valores de cada classe serão diferentes.

Tanto quanto possível as máscaras procuraram evitar as zonas com presença de fumo, nuvens, zonas de sombra e alagados, a fim de que os mapas finais apresentem apenas as classes elegíveis pelo analista.

Assim, com o auxílio do software ArcMap 10.0, foram criados sete ficheiros vetoriais que foram utilizados como máscara para recortar a zona de estudo em sete Talhões (“1”, “2”, “3”, “4”, “5”, “6” e “7”) e cada um deles produziu recortes de imagem Landsat/TM, referentes a dois anos consecutivos e todos eles apresentam 15 Km x 20 Km ou 30.000 ha de zona (UTM/WGS 84).

O Talhão “1” é um polígono com as seguintes coordenadas geodésicas, datum WGS 84: canto superior esquerdo (58° 55’ 08,0”W; 09° 17’ 49,9”S), canto superior direito (58° 44’ 12,7”W; 09° 17’ 53,3”S), canto inferior esquerdo (58° 55’ 10,7”W; 09° 25’ 58,1”S) e canto inferior direito (58° 44’ 15,2”W; 09° 26’ 1,5”S).

O Talhão “2” é um polígono com as seguintes coordenadas geodésicas, datum WGS 84: canto superior esquerdo (59° 09’ 13,7”W; 10° 55’ 16,6”S), canto superior direito (58° 58’ 15,2”W; 10° 55’ 21,0”S), canto inferior esquerdo (59° 09’ 17,2”W; 11° 03’ 24,6”S) e canto inferior direito (58° 58’ 18,5”W; 11° 03’ 29,1”S).

O Talhão “3” é um polígono com as seguintes coordenadas geodésicas, datum WGS 84: canto superior esquerdo (59° 06’ 46,1”W; 11° 38’ 13,8”S), canto superior direito (58° 55’ 46,2”W; 11° 38’ 18,4”S), canto inferior esquerdo (59° 06’ 49,8”W; 11° 46’ 21,6”S) e canto inferior direito (58° 55’ 49,6”W; 11° 46’ 26,3”S).

O Talhão “4” é um polígono com as seguintes coordenadas geodésicas, datum WGS 84: canto superior esquerdo (59° 06’ 12,4”W; 11° 50’ 9,6”S),

canto superior direito ($58^{\circ} 55' 12,1''\text{W}$; $11^{\circ} 50' 14,3''\text{S}$), canto inferior esquerdo ($59^{\circ} 06' 16,2''\text{W}$; $11^{\circ} 58' 17,4''\text{S}$) e canto inferior direito ($58^{\circ} 55' 15,5''\text{W}$; $11^{\circ} 58' 22,1''\text{S}$).

O Talhão “5” é um polígono com as seguintes coordenadas geodésicas, datum WGS 84: canto superior esquerdo ($58^{\circ} 53' 36,2''\text{W}$; $11^{\circ} 52' 40,9''\text{S}$), canto superior direito ($58^{\circ} 42' 35,7''\text{W}$; $11^{\circ} 52' 45,1''\text{S}$), canto inferior esquerdo ($58^{\circ} 53' 39,62''\text{W}$; $12^{\circ} 00' 48,8''\text{S}$) e canto inferior direito ($58^{\circ} 42' 38,7''\text{W}$; $12^{\circ} 00' 53,0''\text{S}$).

O Talhão “6” é um polígono com as seguintes coordenadas geodésicas, datum WGS 84: canto superior esquerdo ($59^{\circ} 18' 51,4''\text{W}$; $11^{\circ} 30' 42,0''\text{S}$), canto superior direito ($59^{\circ} 07' 51,9''\text{W}$; $11^{\circ} 30' 47,0''\text{S}$), canto inferior esquerdo ($59^{\circ} 18' 55,4''\text{W}$; $11^{\circ} 38' 49,8''\text{S}$) e canto inferior direito ($59^{\circ} 07' 55,6''\text{W}$; $11^{\circ} 38' 54,9''\text{S}$).

O Talhão “7” é um polígono com as seguintes coordenadas geodésicas, datum WGS 84: canto superior esquerdo ($59^{\circ} 26' 03,2''\text{W}$; $11^{\circ} 40' 25,2''\text{S}$), canto superior direito ($59^{\circ} 15' 03,4''\text{W}$; $11^{\circ} 40' 30,5''\text{S}$), canto inferior esquerdo ($59^{\circ} 26' 07,4''\text{W}$; $11^{\circ} 48' 32,8''\text{S}$) e canto inferior direito ($59^{\circ} 15' 07,3''\text{W}$; $11^{\circ} 48' 38,3''\text{S}$).

A Figura 9 mostra a posição dos sete talhões, objectos de estudo, em relação entre si e em relação às órbitas-ponto 229-66 e 229-68.

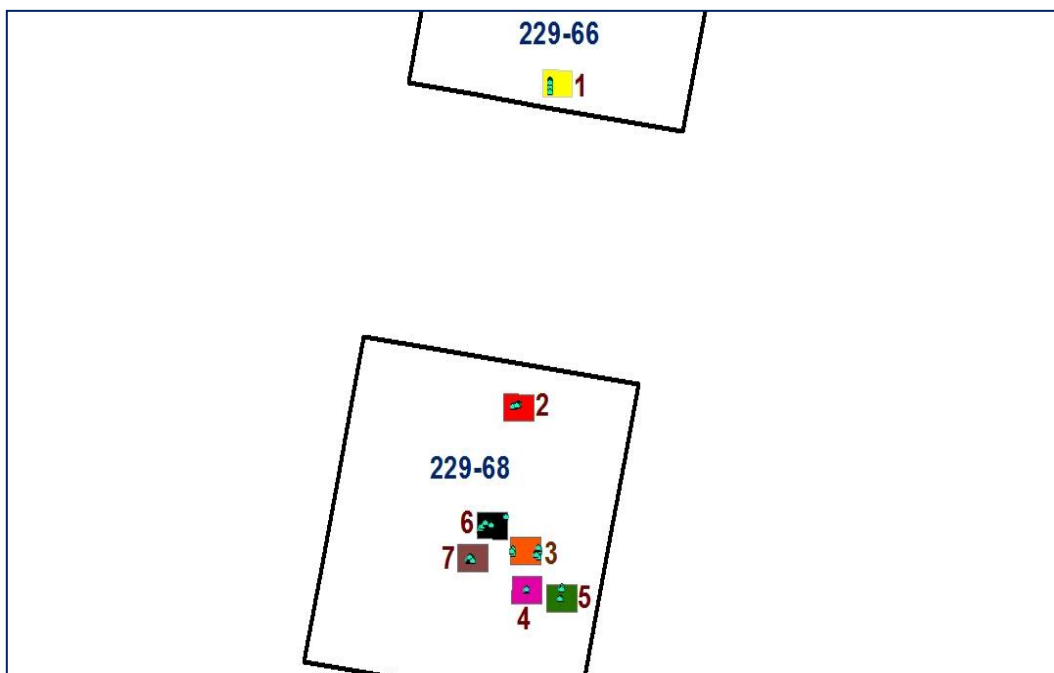


Figura 9 – Posição dos sete talhões objectos de estudo

4.10 Presença de Cipós

Os cipós nas florestas tropicais, naturalmente fazem a interconexão das copas das árvores, o que promove o aumento dos danos causados às árvores vizinhas quando uma árvore é cortada durante a exploração seletiva, o que cria uma abertura no copado florestal do local onde a árvore foi extraída. Segundo um estudo de Vidal et al. (1998), a zona de impacto dos resíduos da queda da árvore, isto é, a zona da floresta circundante que foi coberta por galhos, troncos e outros resíduos, cresceu com o número de conexões de cipós existentes na zona.

A Figura 10 mostra a relação entre a zona aberta no copado florestal e o número de conexões de cipós, onde “pouca” conexão significa de 1 a 2 conexões, “média” onde há de 3 a 7 conexões e “muitas” onde ocorrem mais de 7 conexões de cipós.

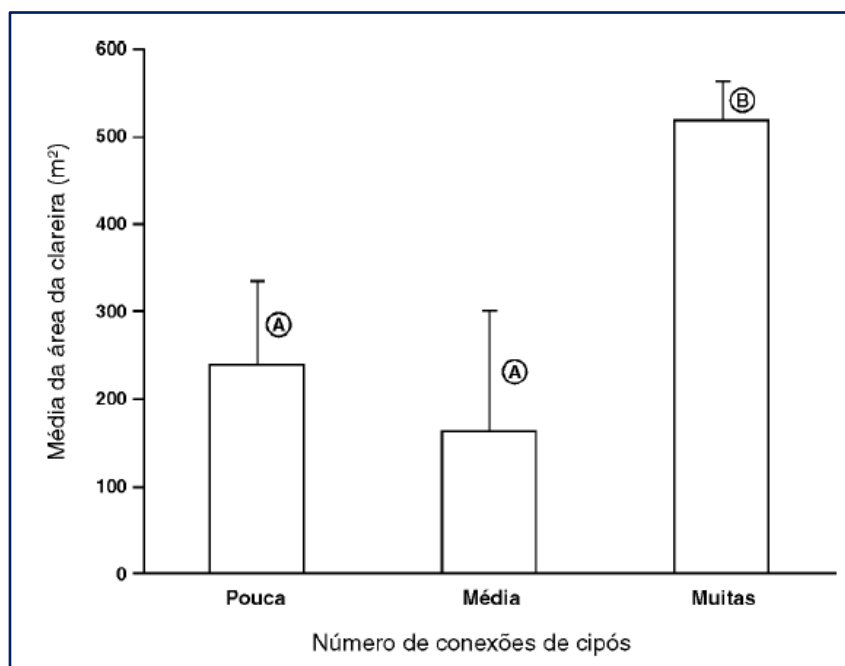


Figura 10 – Relação entre a zona da clareira e as conexões de cipós (adaptado de Vidal et al., 1998)

A maior presença de conexões de cipós aumenta a zona da clareira no local da árvore extraída e, certamente, prejudicará as produções futuras da floresta, daí a recomendação para se efectuar o corte dos cipós nas zonas manejadas como operação anterior à derrubada das árvores.

Barros e Veríssimo (2002) ao estudar os impactos da indústria madeireira no recurso florestal, em zona de floresta perenifolia húmida do município de Paragominas/PA, alcançaram resultados ainda mais expressivos ao constatar que são destruídos quase 2 m³ de madeira para cada m³ extraído, devido à construção de 40 m de estrada e à abertura de uma média de 663 m² de copado florestal para cada árvore extraída, enquanto que a queda natural de uma árvore abre de 150 m² a 300 m² de copado florestal.

A abertura de clareiras naturais faz parte da estrutura e da dinâmica do sistema de sucessão florestal, pois o processo de regeneração natural influencia os processos de sucessão secundária (Pearson et al., 2003).

Pantoja (2010) classificou píxeis que seriam pátios em potencial e trabalhou com uma zona média de solo exposto pelos pátios de estocagem, de 380 m².

Uma vez que a zona do píxel de uma Landsat-5/TM representa uma zona no terreno de 900 m² e, a considerar uma abertura média do copado florestal de 663 m² por árvore extraída, mesmo que uma abertura do copado florestal não seja necessariamente uma zona de solo exposto, há alteração no NDVI do píxel.

Na pior das hipóteses, se o dano causado no copado florestal pela extração se encontra no limite entre 4 píxeis da imagem, teríamos uma abertura no copado florestal de 165,75 m²/píxel, cuja alteração de NDVI dificilmente seria detectada pela metodologia de Diferença de Imagens NDVI.

Na melhor das hipóteses, se a abertura no copado florestal se encontra totalmente inserida em apenas um píxel (alteração de 663 m² dos 900 m²), tal alteração de NDVI seria mais facilmente detectada pela metodologia.

A Figura 11 mostra um exemplo de abertura do copado florestal, no Talhão “2”, proveniente da extração de apenas uma árvore, que pode ser detectada por esta metodologia.



Figura 11 – À esquerda um toco e à direita a abertura do copado florestal correspondente

Os Talhões de “1” a “7” representam zonas de ocorrência de Floresta Ombrófila Aberta com presença de Palmeiras e Cipós (Figura 12). Neste

tipo de formação florestal o espaçamento natural existente entre as árvores favorece o desenvolvimento de lianas e palmeiras, que necessitam de certa intensidade de luz para se desenvolverem plenamente. A proliferação de cipós é intensa e em alguns casos chega a matar a árvore hospedeira (Salomão et al., 2007).



Figura 12 – Talhão “2” (18/07/2011) - Floresta Ombrófila Aberta com palmeiras e cipós

4.11 Limiares para detecção de alterações

Segundo Jensen (1996), os métodos de transformações de bandas têm como principais desvantagens a necessidade de se definir um limiar que distinga alterações de não alterações e a sensibilidade à má georreferenciação das imagens, mas é eficiente na identificação dos píxeis que sofreram alterações entre as datas em análise.

Após a obtenção das Imagens Diferença NDVI, estas foram classificadas pelo ArcMap 10.0 através do Método Manual, onde o analista indica os limites de cada classe. Para tal foram definidas duas classes (“Alterada” e “Inalterada”), de modo que o algoritmo histograma passe a delimitar estes alvos de interesse.

A partir daí foi necessário definir alguns limiares de alteração. O limiar é o valor a partir do qual são separadas as feições não relevantes, tal como as zonas que não sofreram alteração de NDVI, das feições relevantes, ou seja, das zonas de florestas nativas que sofreram alteração de NDVI e que potencialmente podem ser classificadas como zona de corte seletivo da floresta.

Como pequenas alterações de NDVI podem significar grandes mudanças no uso do solo, existe a necessidade de definir cuidadosamente limiares de alteração nestas imagens, através dos quais diferenças relevantes são identificadas (Jensen, 1996).

A definição dos limiares de alteração foi baseada em uma aproximação estatística, que se traduz na aplicação de diferentes limiares estatísticos, resultados da diferença entre o valor da média e valores de desvio padrão de imagens diferença NDVI. Tal método foi utilizado por Armas e Caetano (2004) na detecção de zonas onde ocorreu incêndio florestal.

Tal técnica baseia-se na definição de um intervalo existente na população de valores NDVI existentes na imagem, dado por " $\mu \pm Y \times \sigma$ " (onde μ é a média, Y é o valor de desvio padrão utilizado na definição do limiar e σ o desvio padrão), através do qual há probabilidade de encontrar píxeis que sofreram alteração, ou seja, aqueles píxeis que ficaram fora deste intervalo.

O valor do desvio padrão geralmente é utilizado para definir o limiar de alteração na aplicação da diferença de NDVI, em virtude de que a distribuição dos valores de diferença de NDVI se apresenta como uma curva aproximadamente normal (Figura 13), onde os píxeis inalterados se distribuem em torno da média e os alterados se encontram nas caudas da distribuição (Machado, A. F. S., 2005).

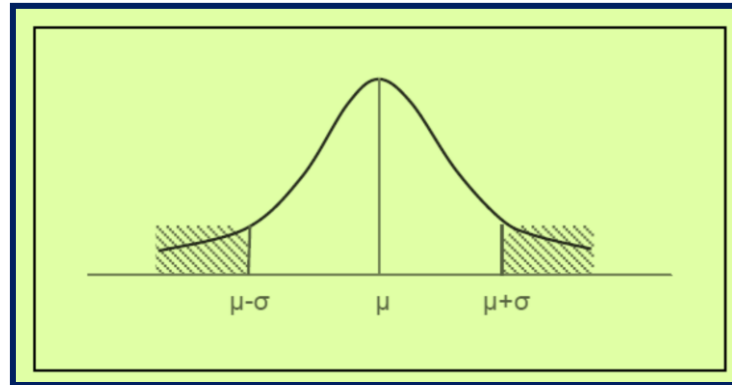


Figura 13 – Padrão de um histograma de Imagem Diferença NDVI com limiar de alteração dado por $\mu \pm Y \times \sigma$. Fonte: Machado, A. F. S. (2005)

4.12 Métodos automáticos de classificação

Os métodos automáticos de classificação de imagens de satélite têm a vantagem de serem mais rápidos, exigirem menos recursos humanos e serem menos subjetivos (Caetano et al., 2002), porém os classificadores estatísticos automáticos baseados em informações espectrais não tem sido capazes de discriminar as zonas de floresta amazônica com corte seletivo (Graça et al., 2005).

As metodologias convencionais de classificação automática ainda não são capazes de fornecer estimativas precisas tanto em extensão quanto em intensidade, em virtude da dificuldade da delimitação automática das zonas de desmatamento seletivo, realizada pelos algoritmos de classificação, causada pela ambiguidade espectral entre as zonas de desmatamento seletivo, zonas de exploração madeireira em diversos estágios e a floresta original. Estes métodos também são limitados pelo alto grau de sofisticação tecnológica para o processamento das imagens (Souza Jr. e Barreto, 2001).

4.13 Matriz de Confusão

A Matriz de Confusão verifica a acurácia da classificação, de forma a avaliar a imagem classificada. Em um conjunto de amostras de teste de cada classe, mostra o número de classificações correctas versus as classificações

preditas para cada classe. O número de acertos para cada classe se localiza na diagonal principal da matriz.

Os demais elementos representam erros de omissão e de comissão da classificação. Coletam-se amostras de teste em uma imagem de referência, que seriam representativas da verdade no terreno, com a finalidade de se avaliar a qualidade do mapa produzido.

A utilização da Matriz de Confusão tem a finalidade de validar a detecção da exploração florestal, ou melhor, validar a detecção da alteração do copado florestal nas Imagens Diferença NDVI dos talhões, de forma a representar a exactidão da classificação realizada pelo classificador Isodata, que neste caso é a reprodução fiel da Imagem Diferença NDVI do talhão, em relação às regiões de interesse (ROI) que representam a verdade no terreno, tomadas como referência, com auxílio dos pontos de controle, para mostrar o número de classificações correctas em relação às classificações preditas para cada classe (“Alterada” e “Inalterada”), sobre um conjunto de píxeis.

Para Rosenfield e Fitzpatrick-Lins (1986), o *Kappa* é uma proporção de acerto depois da eliminação do acerto por acaso. Estes índices utilizam amostras para as quais são conhecidas as verdades de campo e que foram escolhidas arbitrariamente. Tais índices são globais, de forma a valer para todo o mapa, sem refletir as incertezas espacialmente distribuídas. Na Matriz de Confusão as zonas erroneamente classificadas entre duas classes mostra indefinição no padrão destas classes.

5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 - NDVI dos Talhões em estudo

Após o georreferenciamento das imagens Landsat-5/TM, foram geradas as imagens NDVI. Os recortes dessas imagens na escala 1:100.000, relativos aos talhões em estudo, podem ser visualizados nas Figuras 14 a 27 a seguir. Embora o índice NDVI elimine os efeitos multiplicativos dos fatores externos que atuam em todas as bandas, ele aumenta o efeito dos ruídos

nas imagens, como pode ser observado na imagens NDVI, cena 229/68 de 13/07/2010 do Talhão “2” e 08/04/2010 do Talhão “7”.

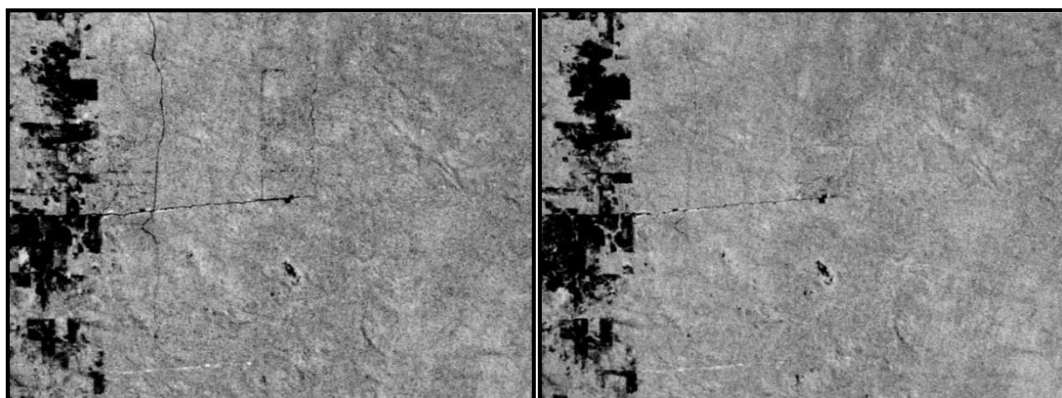


Figura 14: 229/66–10/07/2009 – Talhão “1” **Figura 15:** 229/66-13/07/2010 – Talhão “1”

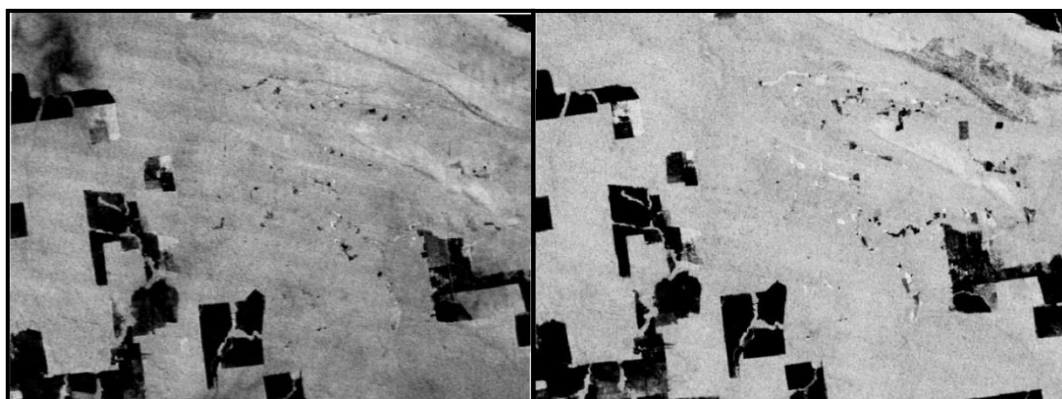


Figura 16: 229/68-13/07/2010 - Talhão “2” **Figura 17:** 229/68-01/08/2011 – Talhão “2”

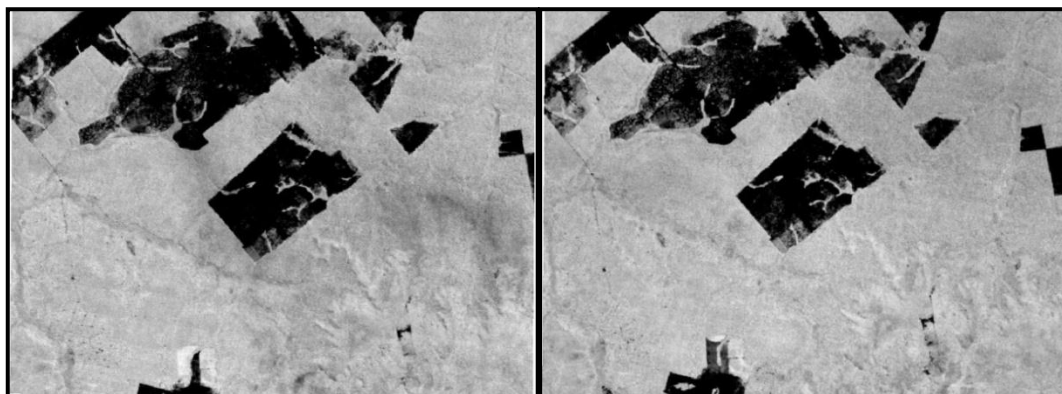


Figura 18: 229/68–13/07/2010 - Talhão “3” **Figura 19:** 229/68–01/08/2011 – Talhão “3”

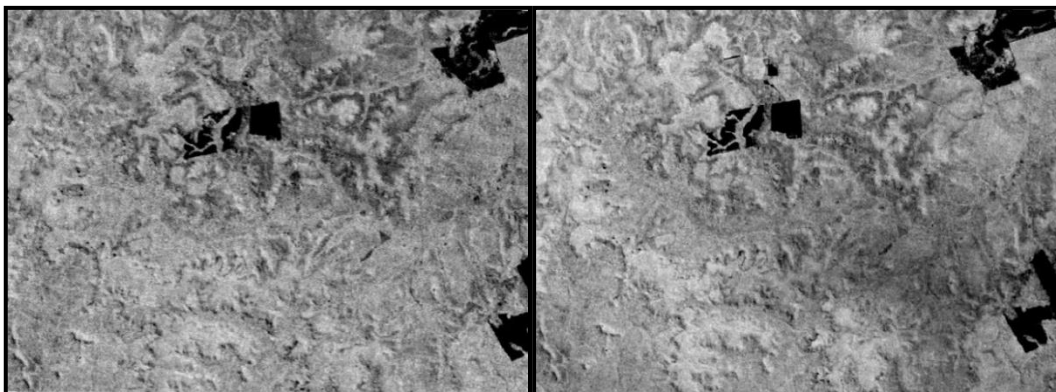


Figura 20: 229/68–13/07/2010 - Talhão “4” **Figura 21:** 229/68–01/08/2011 – Talhão “4”

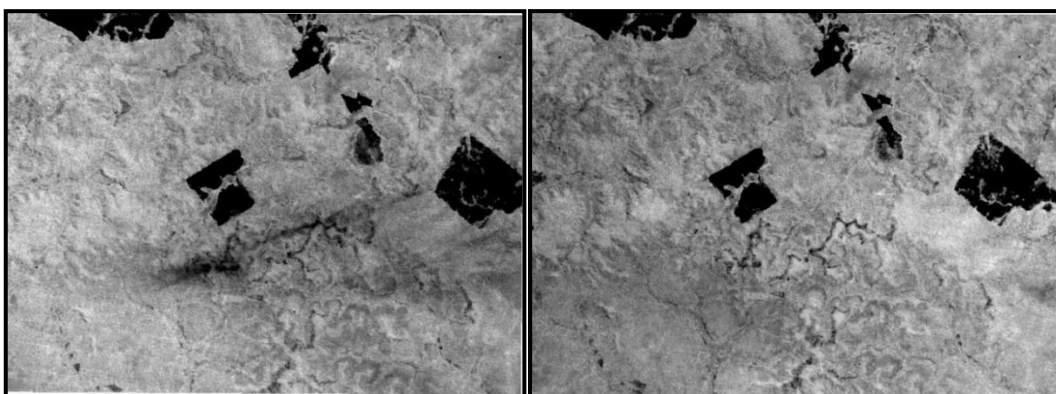


Figura 22: 229/68–13/07/2010 - Talhão “5” **Figura 23:** 229/68-01/08/2011 – Talhão “5”

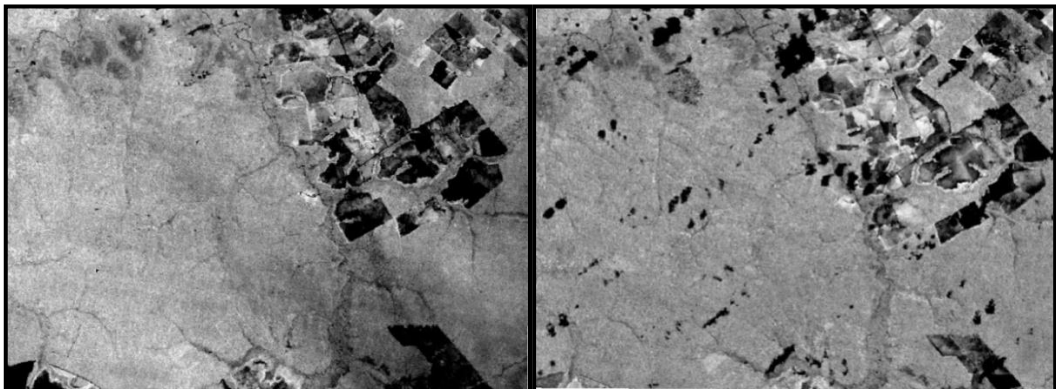


Figura 24: 229/68-08/04/2010 - Talhão “6” **Figura 25:** 229/68-27/04/2011 – Talhão “6”

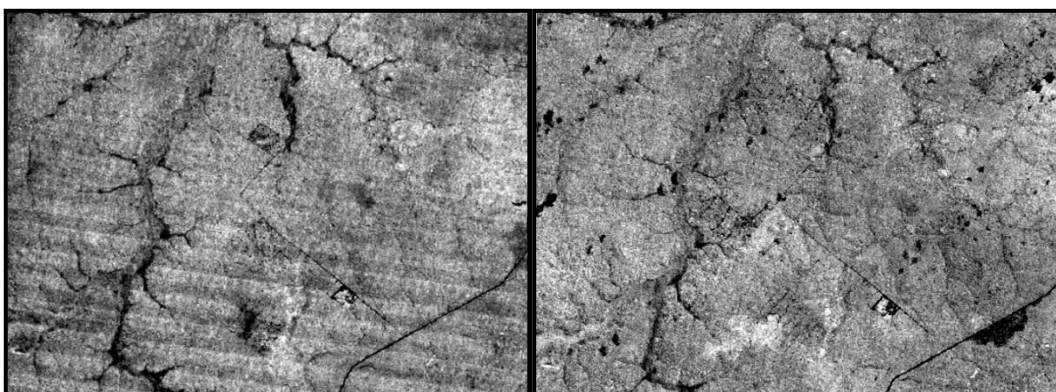


Figura 26: 229/68–08/04/2010 - Talhão “7” **Figura 27:** 229/68–27/04/2011- Talhão “7”

5.2 Análise dos Recortes das Imagens Diferença NDVI

A Tabela 3 mostra os valores estatísticos das Imagens Diferença NDVI dos recortes (talhões em estudo). Os valores negativos correspondem aos píxeis mais escuros que representam zonas nas quais ocorreu perda de NDVI, ou seja, desflorestação. Ao contrário, os valores mais positivos representam os píxeis onde houve acréscimo de NDVI, ou zonas que entraram em processo de regeneração.

Tabela 3. Ganhos e perdas de NDVI dos recortes (talhões)

Nº TALHÃO/CENA	MÍNIMO	MÁXIMO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO
1 / 229-66	-0,66	0,52	-0,04	0,06
2 / 229-68	-0,92	1,02	0,06	0,09
3 / 229-68	-0,50	0,41	0,03	0,05
4 / 229-68	-0,55	0,37	-0,03	0,04
5 / 229-68	-0,45	0,51	-0,01	0,07
6 / 229-68	-0,76	0,73	-0,01	0,08
7 / 229-68	-0,50	0,43	-0,05	0,03

A Imagem Diferença NDVI do Talhão “1”, na escala 1:100.000 (Figura 28), mostra que do ano 2009 para o ano 2010 houve regeneração em diversos sítios que haviam sofrido exploração florestal. Desta forma, os píxeis mais claros da imagem mostram os sítios que estavam em regeneração no ano de 2010.

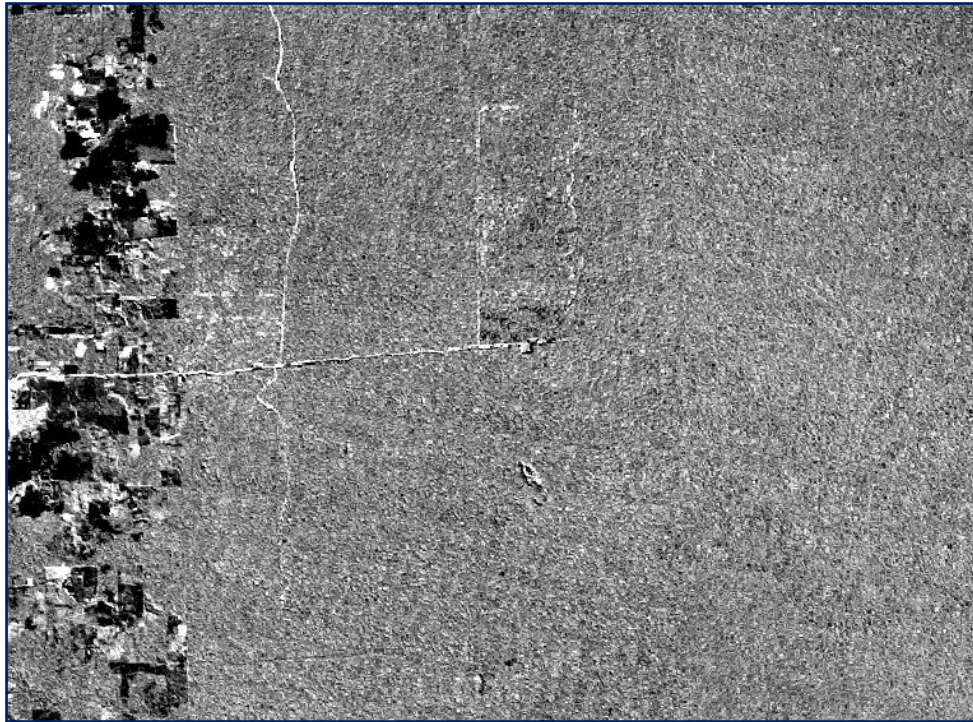


Figura 28 – Imagem Diferença NDVI (2010-2009) do Talhão “1”, escala 1:100.000

Em um dos sítios desta mesma imagem, agora na escala 1:15.000 (superior da Figura 29), é possível verificar a presença de um carreador para transporte das toras que, como comprovam os pontos de controle e a fotografia sobreposta, havia meses que não era mais utilizado e se encontrava em franco processo de regeneração da vegetação. Tal situação também foi confirmada pela Imagem Google Earth Free de alta resolução, de 29/06/2009 (inferior da Figura 29).

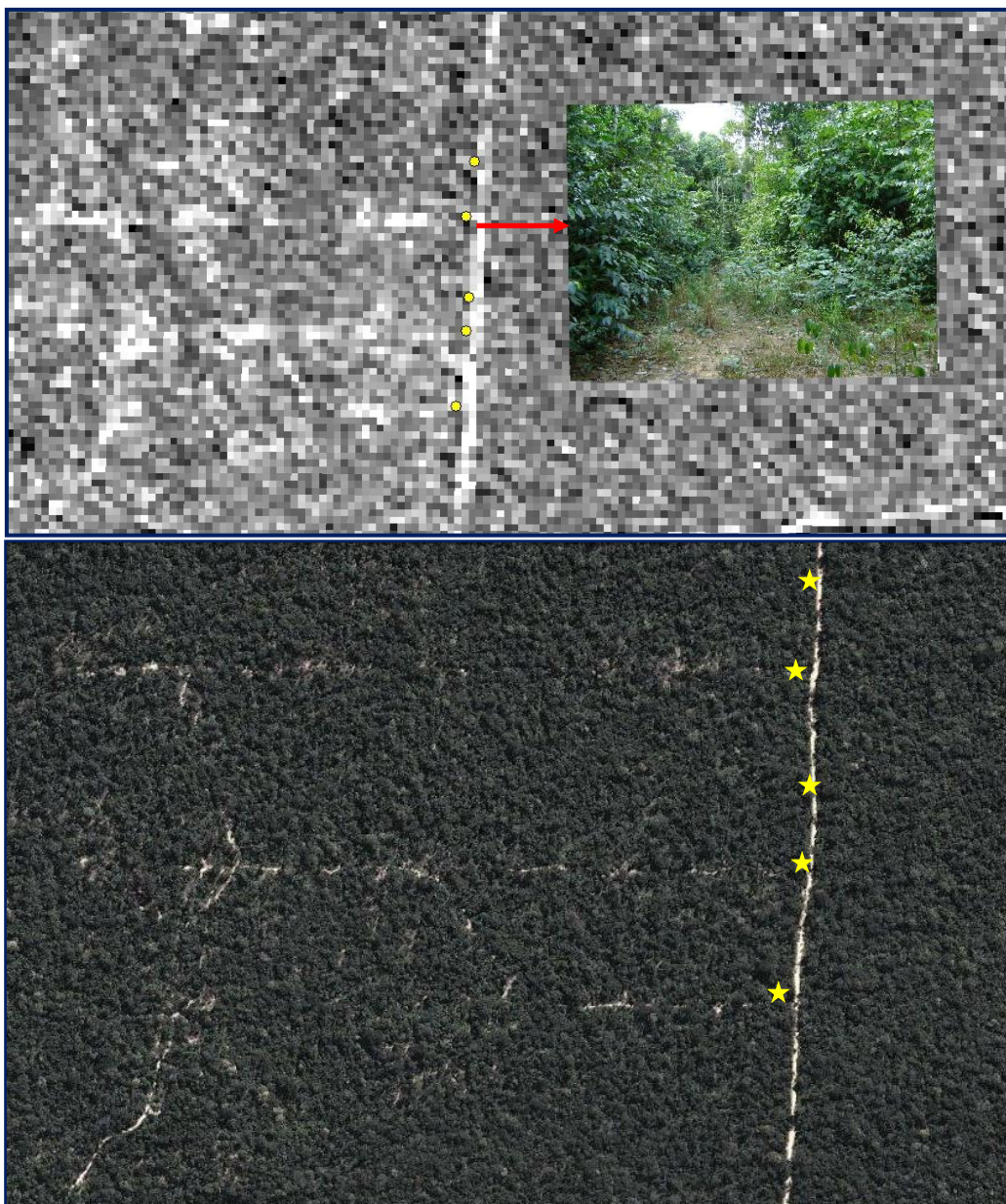


Figura 29 – Foto de um carreador em regeneração sobreposto à Imagem Diferença NDVI da Figura 28 (superior) e Imagem Google Earth de alta resolução (inferior), com os pontos de controle em amarelo

Nas imagens da Figura 30 podemos analisar que na imagem NDVI do Talhão “1” de 10/07/2009 há linhas escuras que representam as estradas e carreadores presentes na zona. Na imagem NDVI de 13/07/2010 a vegetação regenerou-se e acabou por sombrear essas zonas, o que pode ser constatado na imagem diferença NDVI que mostra as estradas e carreadores agora com píxeis claros. Tal situação ocorreu porque as duas

imagens utilizadas para análise do Talhão “1” são de datas posteriores à exploração florestal, daí a ocorrência de ganho de NDVI na subtração das imagens.

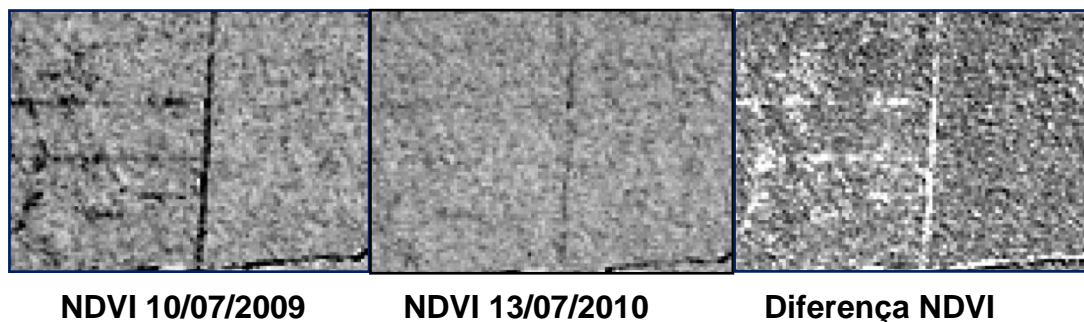


Figura 30 – Imagens NDVI e Diferença NDVI do Talhão “1”

Desta forma, ao utilizar o píxel como unidade de análise, uma vez que a região de estudo são zonas rurais que podem ser definidas ao nível do píxel e as imagens utilizadas são de média resolução, verificou-se em análise visual da Imagem Diferença NDVI do Talhão “2”, entre as datas de 13/07/2010 e 01/08/2011, que grandes árvores quando são extraídas do copado florestal são capazes de influenciar o píxel no qual se encontra inserida de um modo bastante sutil.

Tal perda de NDVI nos píxeis dos sítios onde foram encontrados os tocos de árvores extraídas no ano de 2010 podem ser observadas na Figura 31, na escala de 1:2.750, onde os pontos de controle estão registados em amarelo. Isto não quer dizer que todos os píxeis que apresentam tal escurecimento representam sítios onde houve abate de árvores, pois tal perda de NDVI é apenas um indicativo de queda da actividade fotossintética do local, que pode ser proveniente da modificação do coberto florestal, da senescência ou ataque de pragas e doenças, da presença de afloramento rochoso, de zonas húmidas ou da menor presença de árvores que permite maior exposição do solo.

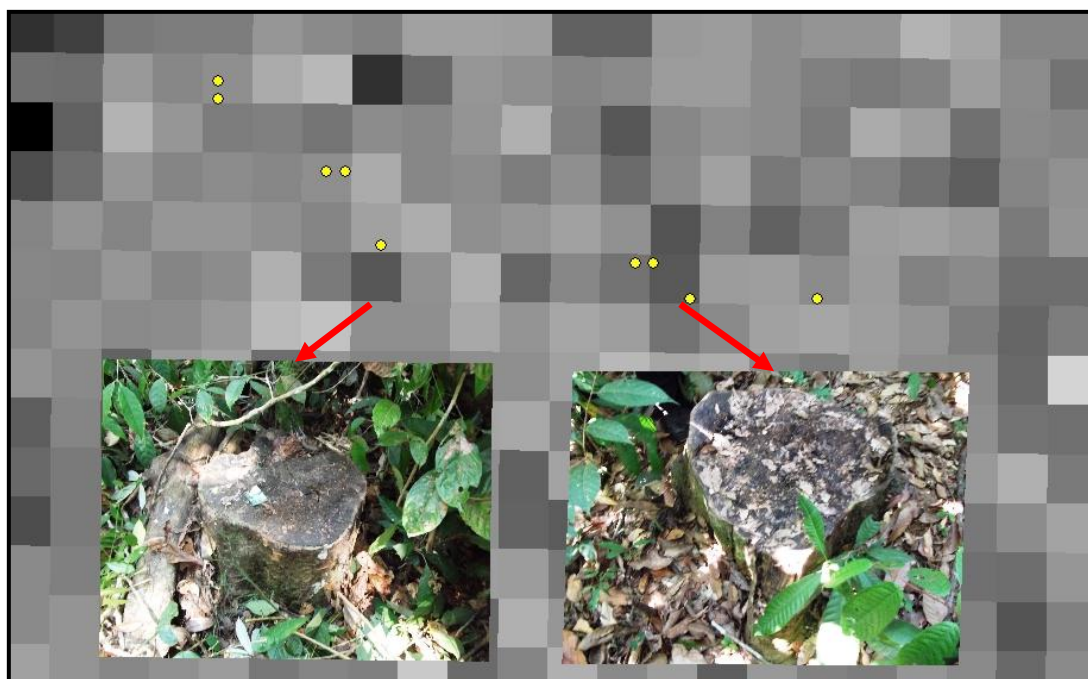


Figura 31 – Perda de NDVI nos sítios dos tocos

O mesmo ocorre com relação à detecção de pátios de estocagem das toras (esplanadas), pois embora a Imagem Diferença NDVI do Talhão “3” na escala 1:5.000, mostre que tal detecção é mais facilmente observável, uma vez que há grandes perdas de NDVI nesses sítios, como mostra o píxel mais escuro da Figura 32, tais píxeis apenas indicam uma perda ainda maior da atividade fotossintética destes sítios.



Figura 32 – Pátio de estocagem indicado pelo píxel mais escuro

5.3 Aplicação dos Limiares de Alteração

Neste trabalho foi utilizado o intervalo “ $\mu - Y \times \sigma$ ” com diferentes valores de Y , a fim de se excluir a maior parte dos píxeis que não sofreram alteração. Desta forma, ficou claro que para a definição do limiar de alteração é usada uma abordagem estatística. Nesta abordagem considera-se que em uma imagem resultante da subtração de NDVIs, os píxeis com valores localizados a uma distância acima de um determinado número de desvio padrão até a média, são considerados como alterações (Salvador et al., 2000).

Os limiares com valores mais próximos da média geram muitos segmentos dentro da classe temática “Alterada”, de forma a provocar confusão visual. No uso de limiares mais distantes da média, as classes espectrais diferentes são englobadas numa única região, de forma a perder algumas zonas “Alteradas”. O excesso de regiões geradas numa mesma classe, ou a omissão destas, faz com que as classes temáticas percam suas formas originais.

Os valores extremos do histograma podem ser considerados como píxeis alterados, mas quanto mais próximos da média os valores podem ou não ser considerados como alteração, assim, quanto menor o valor do desvio padrão considerado como limiar, maior a possibilidade de se incluir erros de comissão, que ocorrem quando se atribui a um píxel uma classe à qual ele não pertence (Lunetta, 2004).

A maior dificuldade na utilização dos limiares de NDVI se refere à época de coleta das imagens, pois na época de inverno das zonas em estudo (junho e julho principalmente), há menor incidência de luz solar e estresse hídrico das plantas, por consequência do balanço hídrico negativo desta época do ano, que diminui a fotossíntese e a biomassa e, conseqüentemente, os valores de NDVI, porém, neste período é que, devido à menor incidência de nuvens e chuvas, são selecionadas as melhores imagens de satélite dos sensores ópticos, o que dificulta a seleção de limiares de NDVI em virtude da menor amplitude destes valores.

A Figura 33 mostra o histograma original da Imagem Diferença NDVI Landat-5/TM, 229-066, do Talhão “1” (13/07/2010-10/07/2009), que apresenta o valor da média igual a $-0,039584609$ e o valor do desvio padrão igual a $0,055502824$.

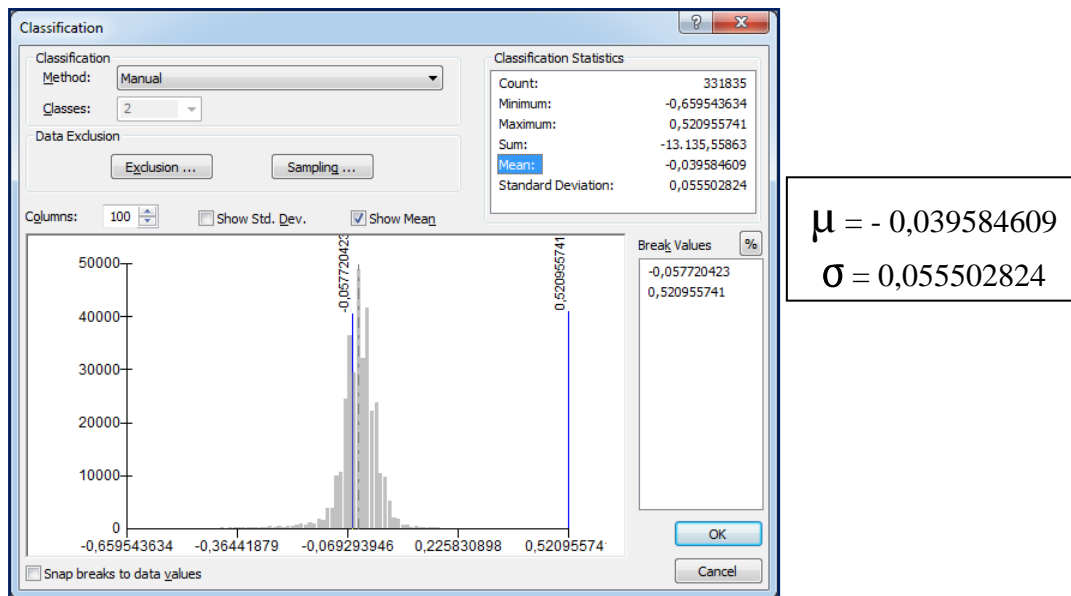


Figura 33 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão “1”

Os histogramas de NDVI podem ser definidos como a representação gráfica do número de píxeis (eixo y) versus valor de NDVI (eixo x), ou seja, é a curva que une os pontos resultantes da relação entre o número de píxeis e o valor digital dos mesmos na imagem NDVI.

Uma vez que desejamos encontrar valores negativos, correspondentes a um decréscimo de NDVI, os diferentes valores de desvio padrão foram subtraídos da média dos valores NDVI das imagens diferença. Foram estabelecidas apenas duas classes: “Alterada” e “Inalterada”.

Manualmente foram inseridos os valores dos limiares de alteração no histograma. Na Imagem Diferença NDVI do Talhão “1”, para identificar o melhor limiar de alteração foram testados quatro diferentes valores de desvio padrão: “ $\mu - 1 \times \sigma$ ”, “ $\mu - 1,25 \times \sigma$ ”, “ $\mu - 1,5 \times \sigma$ ” e “ $\mu - 1,75 \times \sigma$ ”, cujos histogramas encontram-se na Figura 34. No anexo estão registrados os

limiares utilizados nos demais Talhões, com seus respectivos histogramas e Imagens Diferença NDVI.

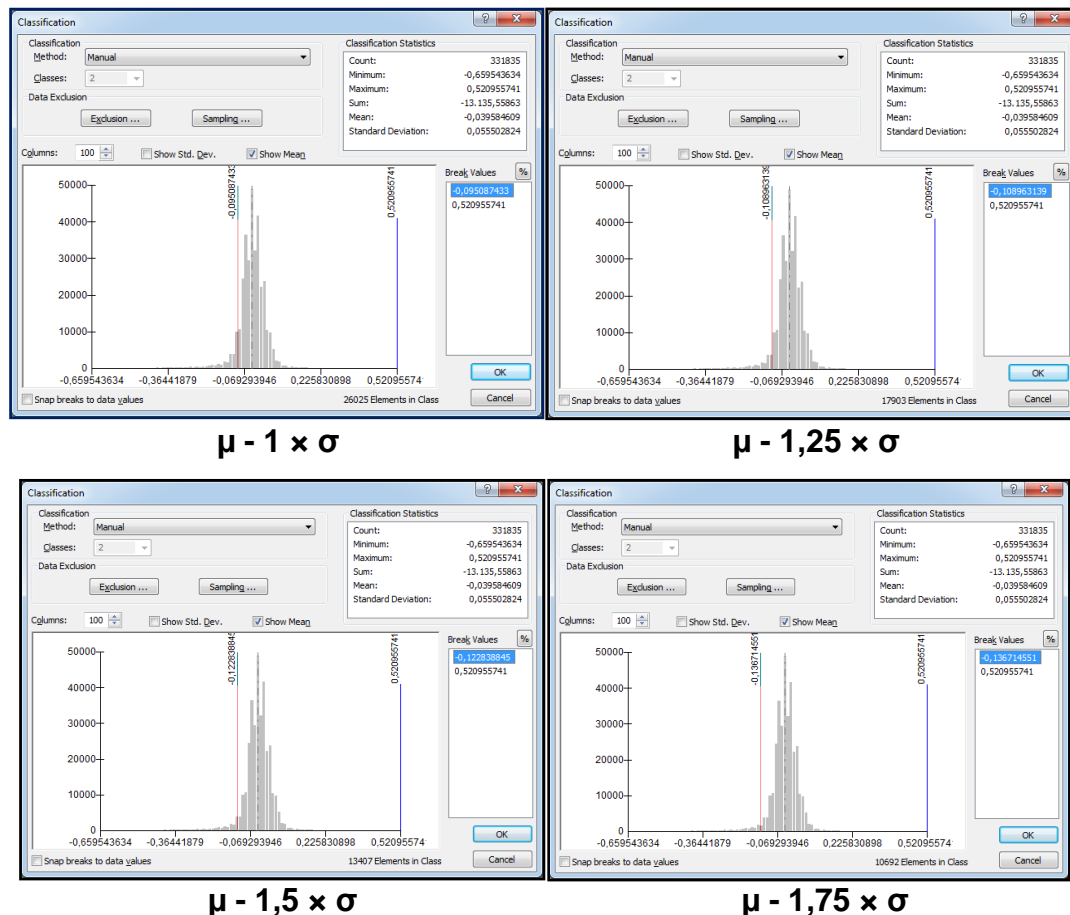


Figura 34 – Histogramas de quatro diferentes valores de desvio padrão da Imagem Diferença NDVI do Talhão “1”

Foram executados estes limiares na Imagem Diferença NDVI do Talhão “1”, que produziram as imagens das Figuras 35 a 38. Nestas imagens foi possível verificar visualmente que, o melhor valor de limiar para o Talhão “1”, que se encontra mais próximo da verdade no terreno detectada pelos pontos de controle, é o definido pelo intervalo de “ $\mu - 1,25 \times \sigma$ ”. Os pontos de controle quando próximos aos píxeis alterados, estarão sempre nas suas bordas, pois as imagens foram obtidas nesses locais.

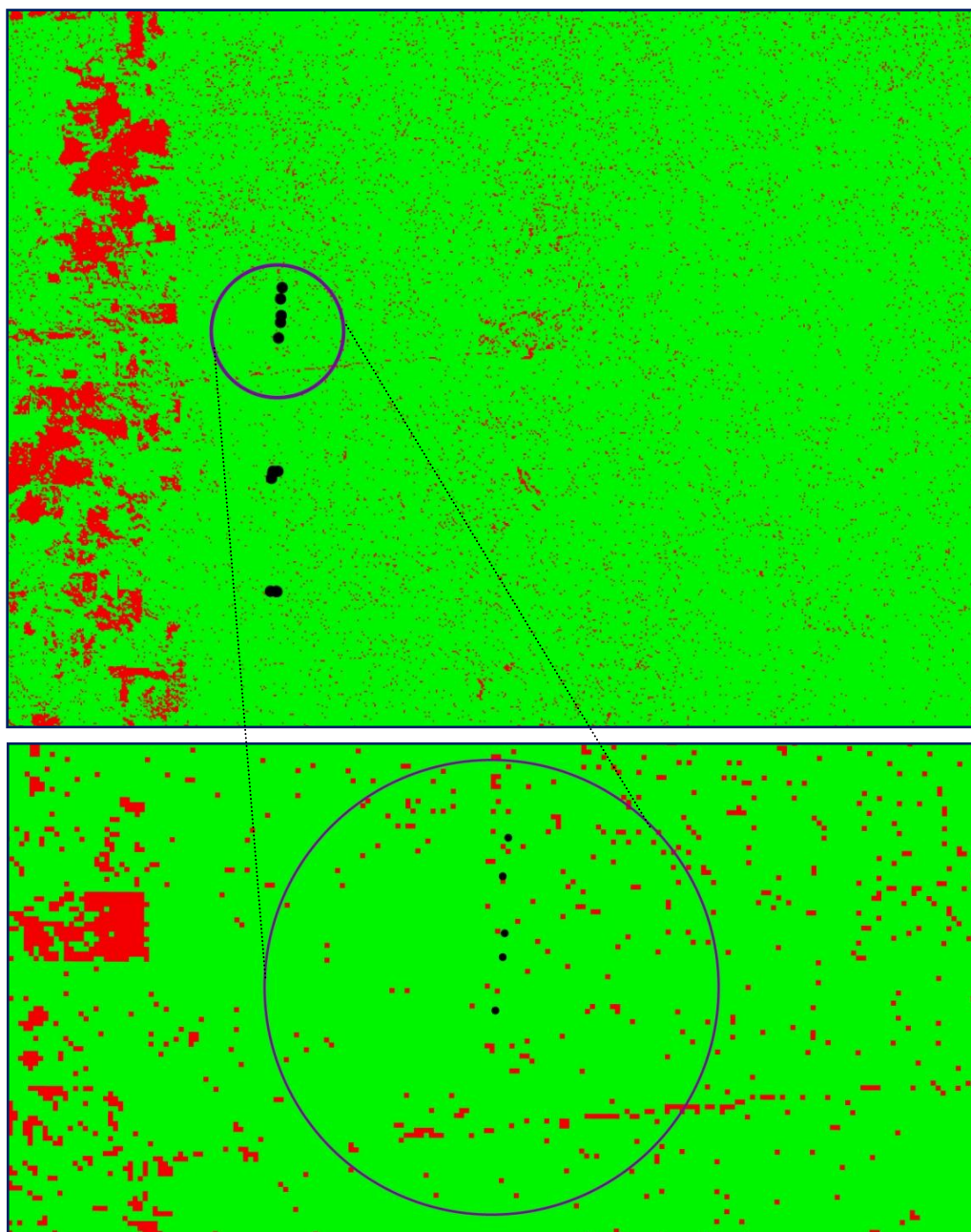


Figura 35 – Imagem Diferença NDVI do limiar " $\mu - 1 \times \sigma$ " do Talhão "1"

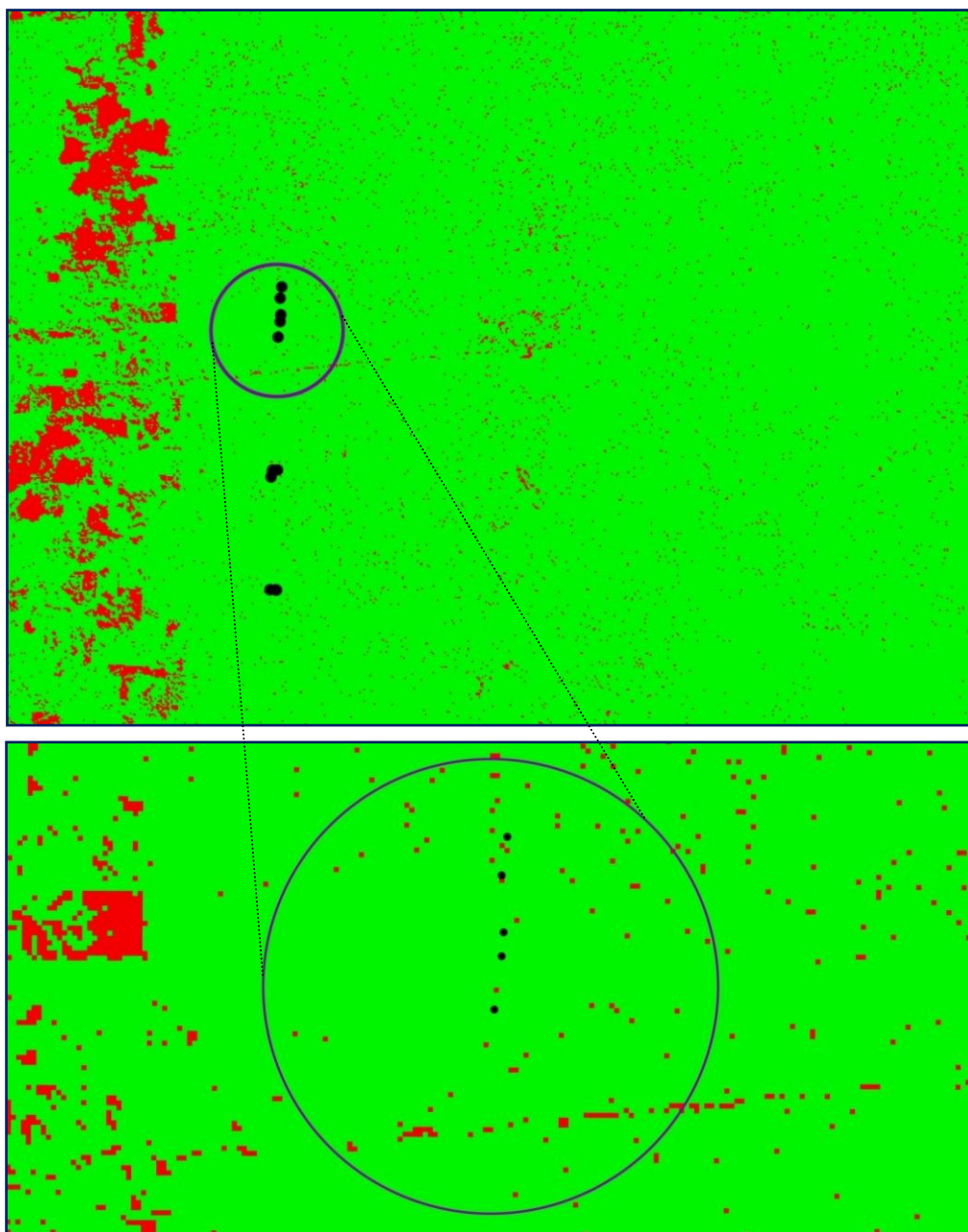


Figura 36 - Imagem Diferença NDVI do limiar " $\mu - 1,25 \times \sigma$ " do Talhão "1"

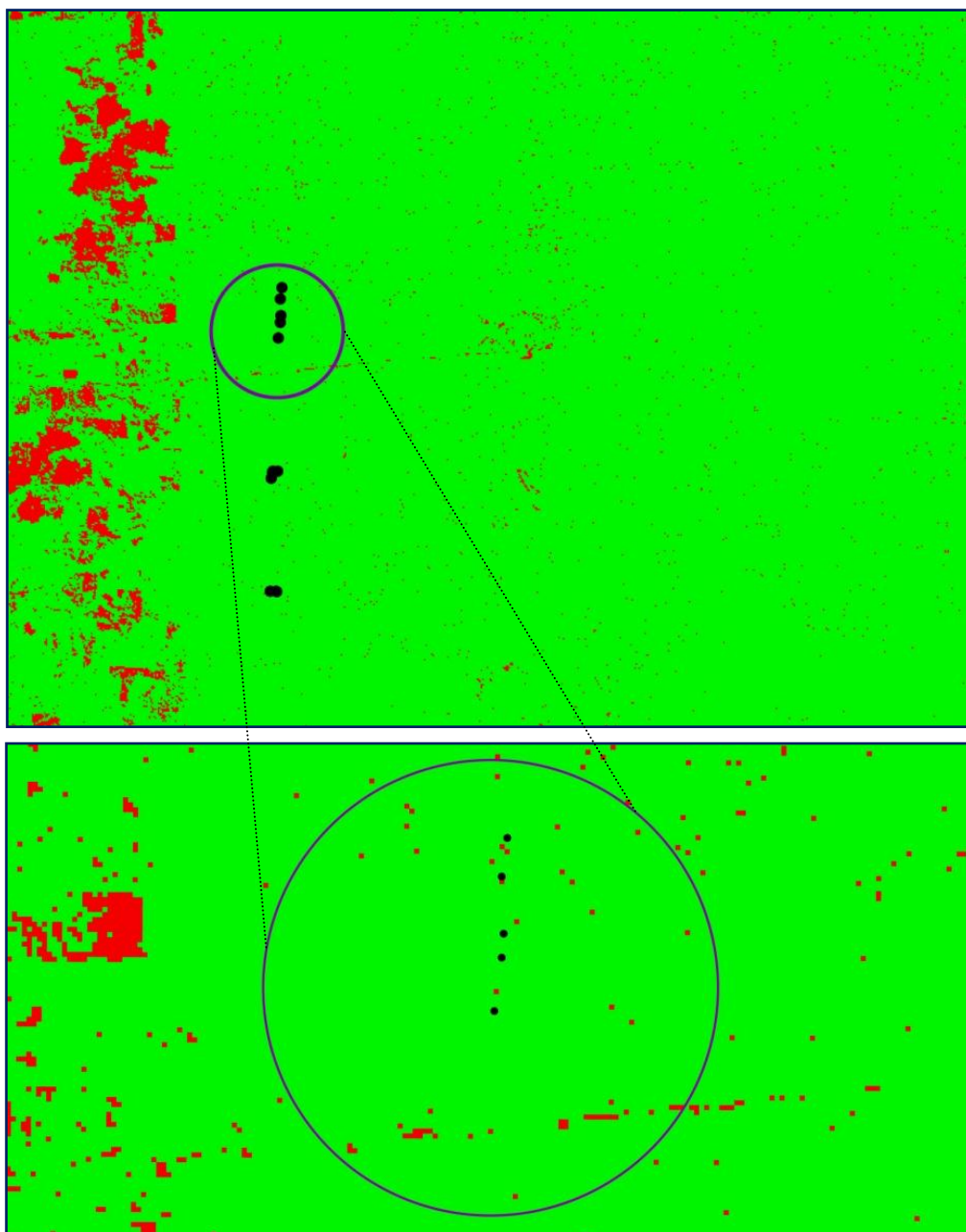


Figura 37 – Imagem Diferença NDVI do limiar " $\mu - 1,5 \times \sigma$ " do Talhão "1"

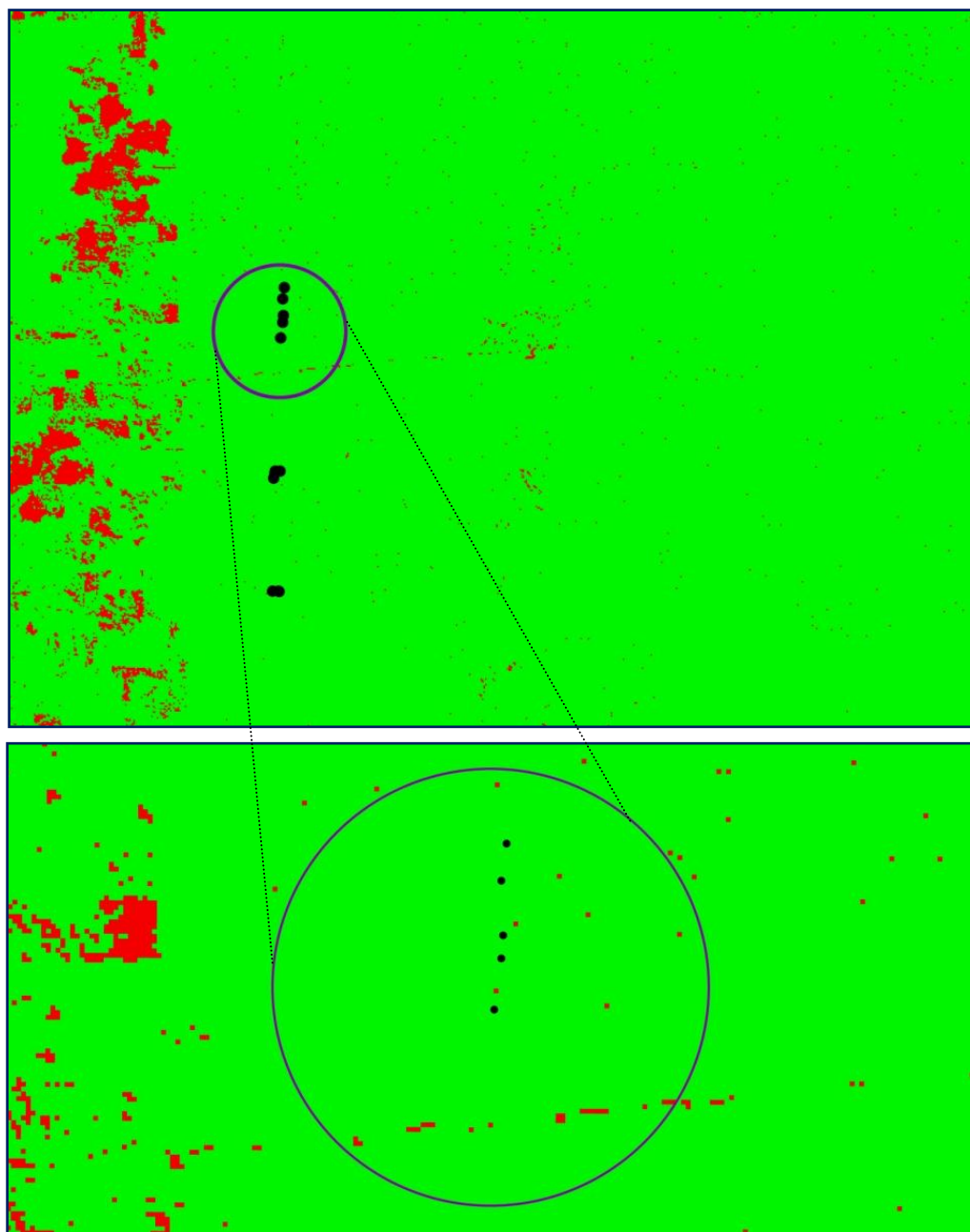


Figura 38 – Imagem Diferença NDVI do limiar “ $\mu - 1,75 \times \sigma$ ” do Talhão “1”

Para melhor exemplificar os resultados obtidos com o limiar de “ $\mu - 1,25 \times \sigma$ ”, a Figura 39 mostra a ampliação da imagem Landsat-5/TM, RGB 543, de 10/07/2009 na escala de 1:20.000 (superior) e da imagem gerada com o limiar de “ $\mu - 1,25 \times \sigma$ ” aplicado à Imagem Diferença NDVI do Talhão “1” (inferior), onde há pontos de controle (pontos azuis).

A imagem gerada com o limiar de " $\mu - 1,25 \times \sigma$ " aplicado à imagem diferença NDVI do Talhão "1" (inferior), mostra em amarelo os píxeis que sofreram alteração e que se situam a uma distância da média acima do valor de - 0,108963139.

Os píxeis alterados se referem a local de solo exposto ("A"), ramal de arraste das toras ("B"), estrada secundária do PMFS ("C") e estrada principal ("D"), conforme indicado na Figura 39.

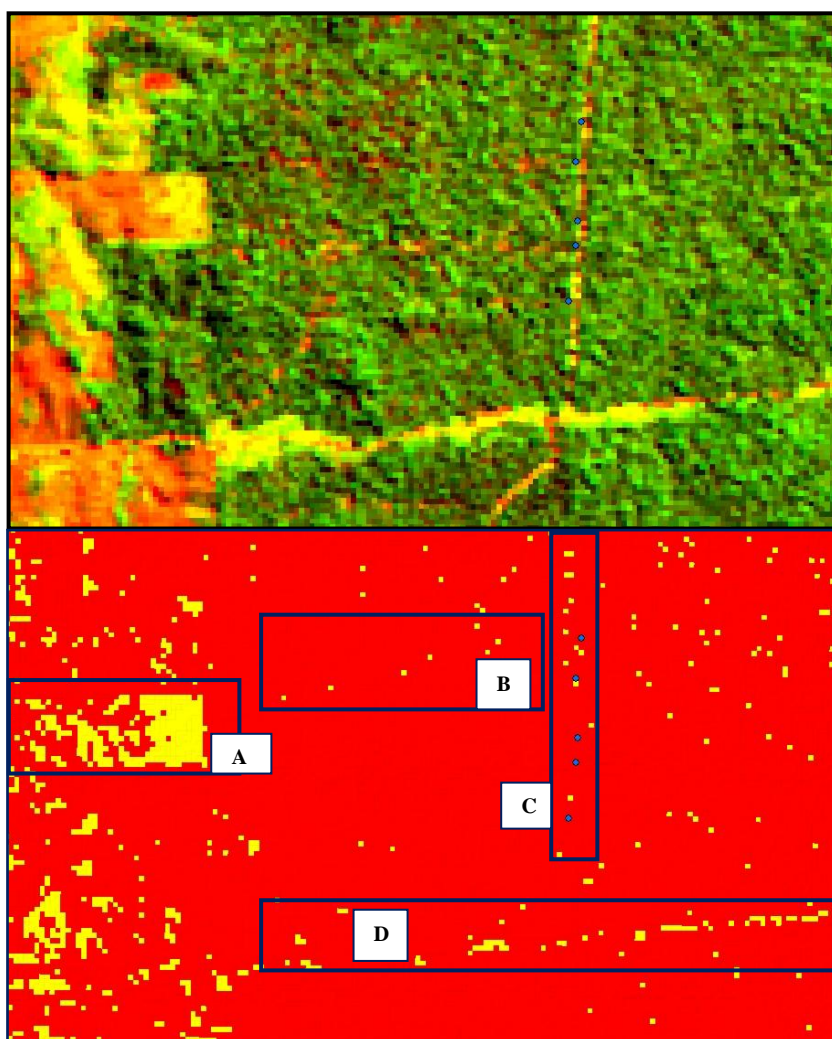


Figura 39 – Imagem Landsat-5/TM – RG 543 (acima) e Imagem Diferença NDVI do limiar " $\mu - 1,25 \times \sigma$ " do Talhão "1" (abaixo)

Para o Talhão "2", o limiar de " $\mu - 1 \times \sigma$ ", foi o que produziu o melhor resultado, uma vez que foi capaz de detectar zonas onde o copado florestal

foi alterado. Na Figura 40 está parte dos píxeis alterados do Talhão “2” em amarelo, com os pontos de controle em azul, para o limiar de “ $\mu - 1 \times \sigma$ ”.

As fotografias sobrepostas mostram dois sítios onde os cobertos florestais foram alterados, do que se pode inferir que sítios onde o copado florestal sofra intervenção em uma intensidade que altere o NDVI do píxel a um ponto que possa ser detectado pelo limiar de alteração, tais píxeis são passíveis de serem identificados por essa metodologia.

Ressalta-se aqui a dificuldade de se detectar as alterações do coberto florestal causadas pela extração seletiva de árvores, pois por melhor que seja a aplicação do limiar de alteração, ainda assim, parte dos pixels alterados não serão detectados por essa metodologia, porém, uma vez que sejam detectados pixels alterados em áreas não licenciadas para exploração, tais áreas deverão merecer investigações por parte dos órgãos ambientais.

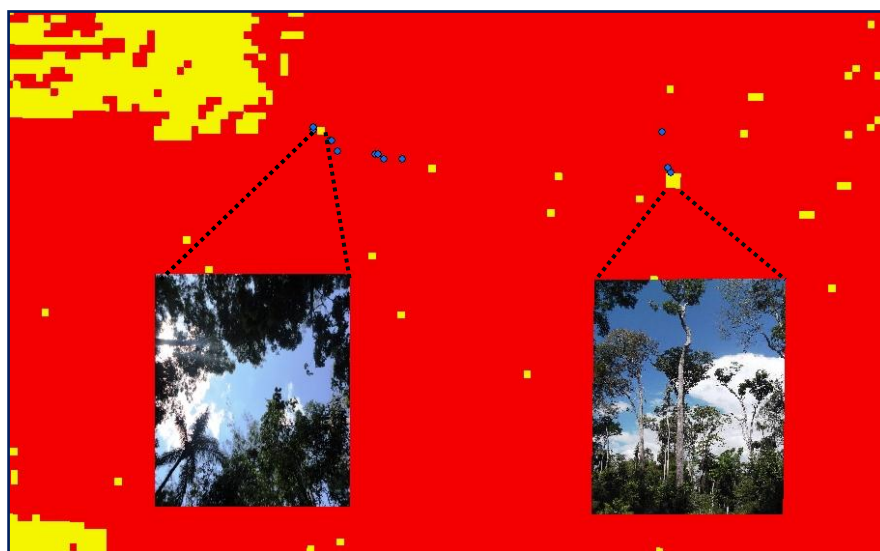


Figura 40 – Fotografias de cobertos florestais alterados cujos píxeis foram detectados

5.4 Classificação Isodata

Devido à necessidade de se construir a Matriz de Confusão a partir da imagem gerada com os melhores limiares de cada Talhão aplicados às suas respectivas Imagens Diferença NDVI, tais imagens foram reclassificadas no

ArcMap 10.0 através da ferramenta “*Reclassify*” e exportada para o Envi 4.5. Na Figura 41 temos a Imagem Diferença NDVI do limiar “ $\mu - 1 \times \sigma$ ” do Talhão “2” reclassificada.

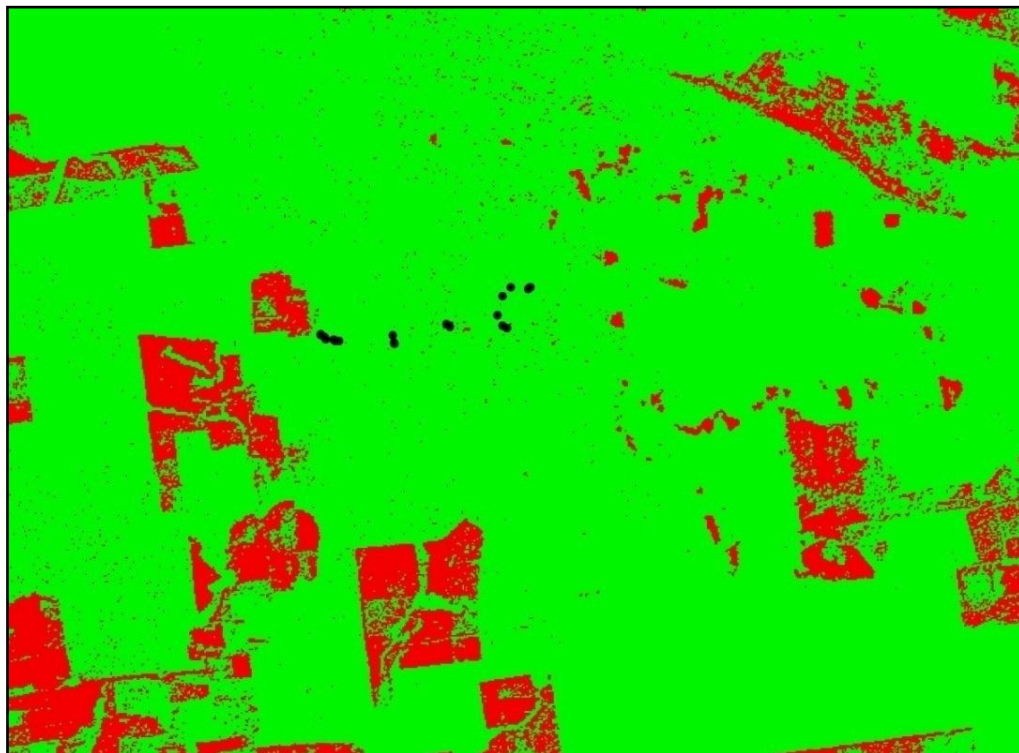


Figura 41 – Imagem Diferença NDVI do limiar de “ $\mu - 1 \times \sigma$ ” do Talhão “2”, reclassificada no ArcMap 10.0 e os pontos de controle

No programa Envi 4.5 foi realizada a classificação pelo método de classificação não supervisionada Isodata. O Isodata é um classificador que tem a capacidade de agrupar píxeis baseado no centro das classes, medido por uma distância estatística. Desta forma, com este método elimina-se a interferência do analista no processo de classificação.

No Envi 4.5 foi definido um número mínimo e máximo de duas classes e uma iteração, a fim de que o ficheiro da imagem reclassificada não sofresse alterações. Com esses parâmetros o classificador Isodata gerou as imagens das Figuras 42 a 48, com as duas classes (“Alterada” em vermelho e “Inalterada” em verde) das Imagens Diferença NDVI dos Talhões de “1” a “7”.

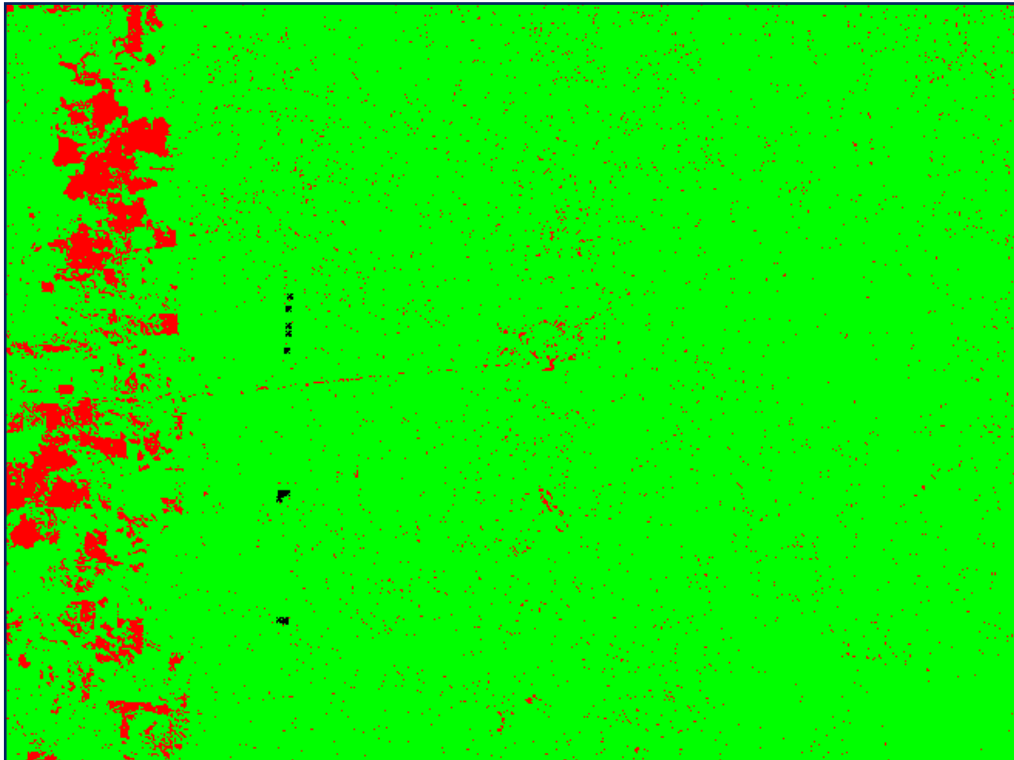


Figura 42 – Classificação Isodata do Talhão “1” e os pontos de controle em preto

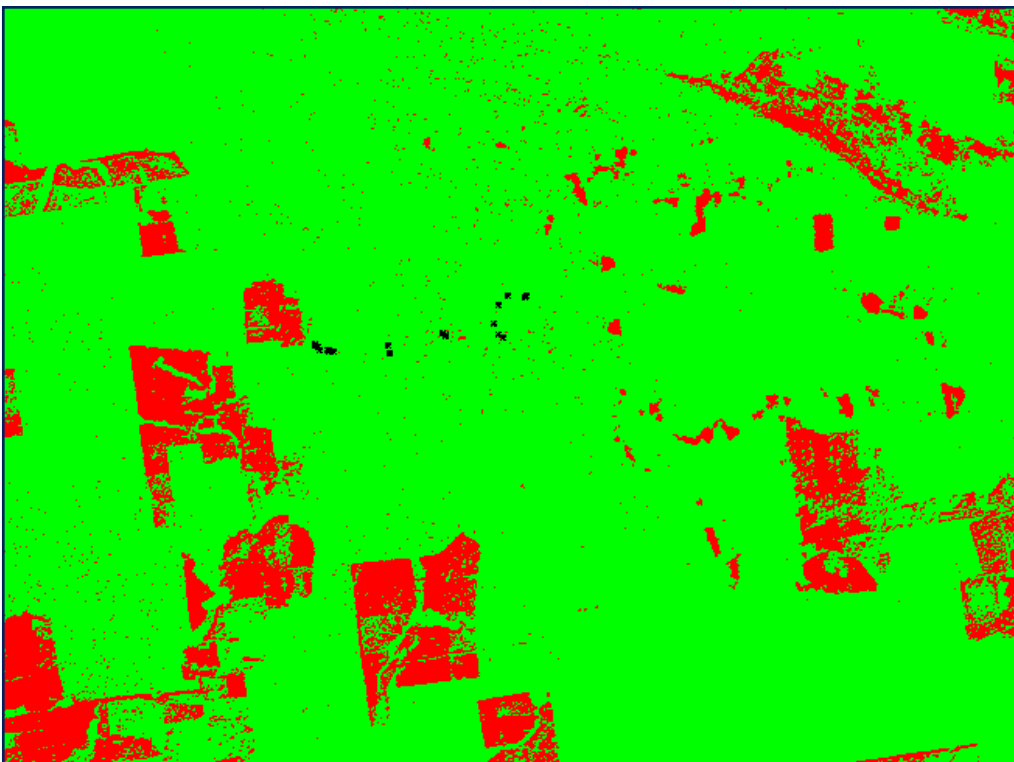


Figura 43 – Classificação Isodata do Talhão “2” e os pontos de controle em preto

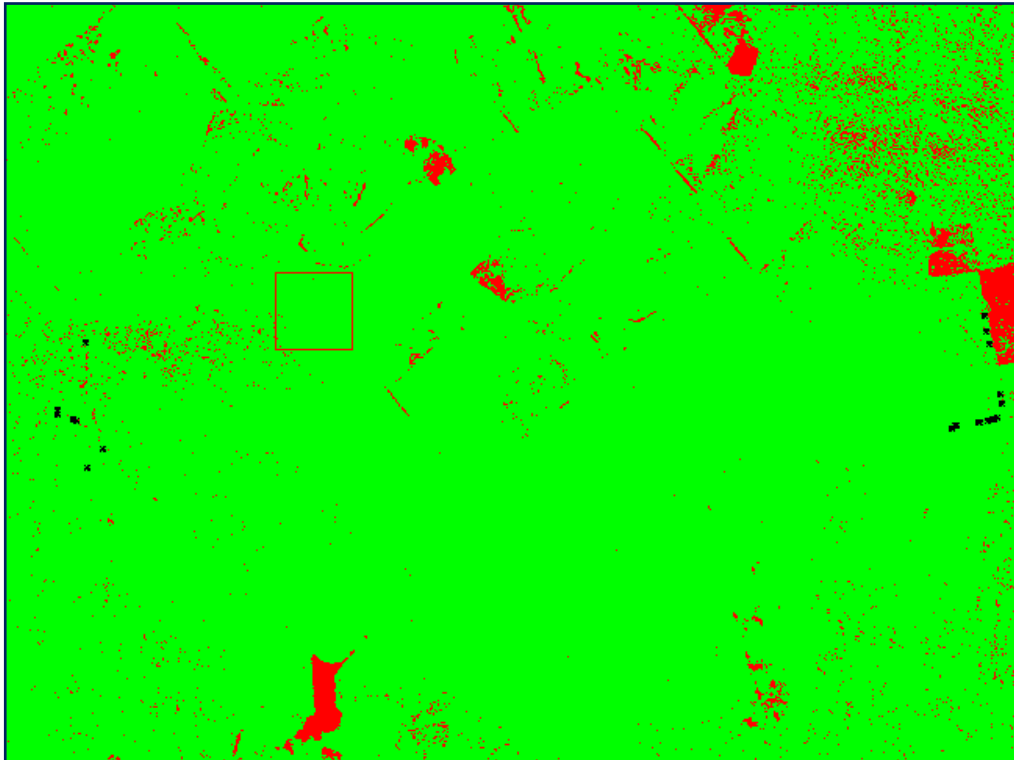


Figura 44 – Classificação Isodata do Talhão “3” e os pontos de controle em preto

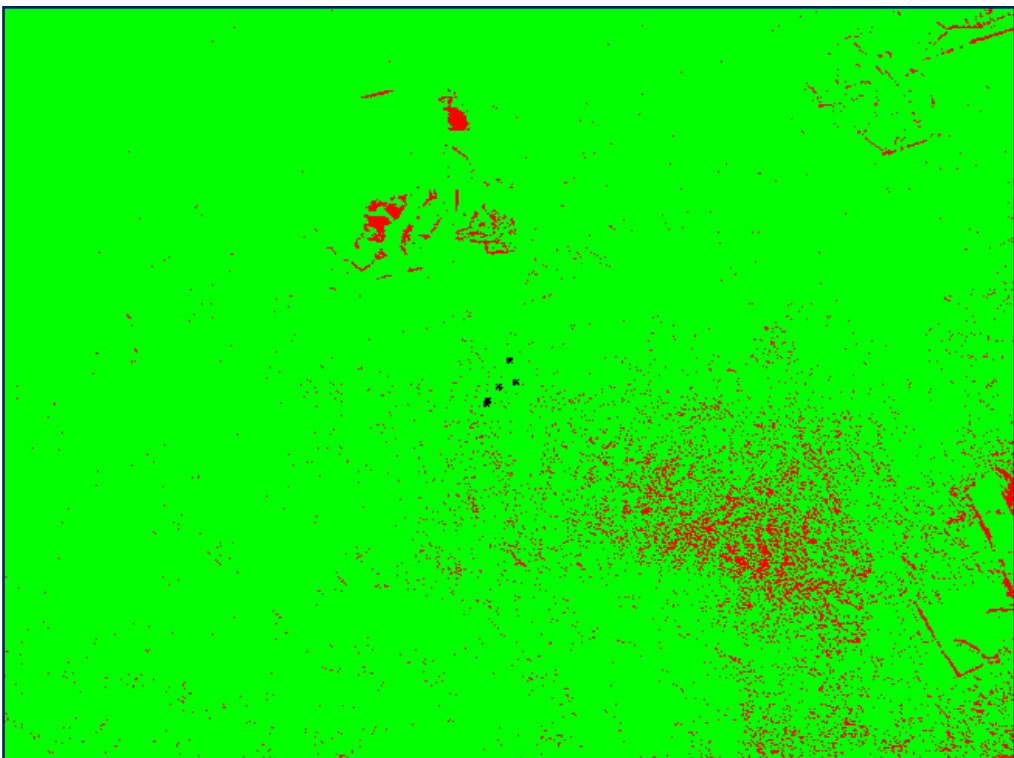


Figura 45 – Classificação Isodata do Talhão “4” e os pontos de controle em preto

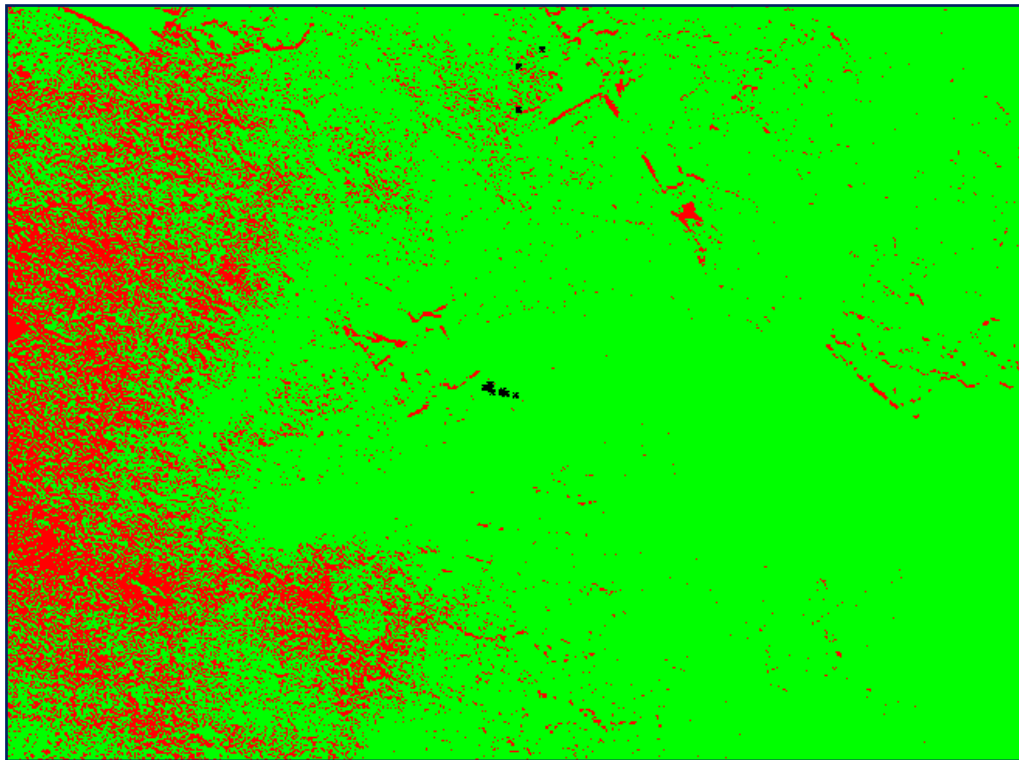


Figura 46 – Classificação Isodata do Talhão “5” e os pontos de controle em preto

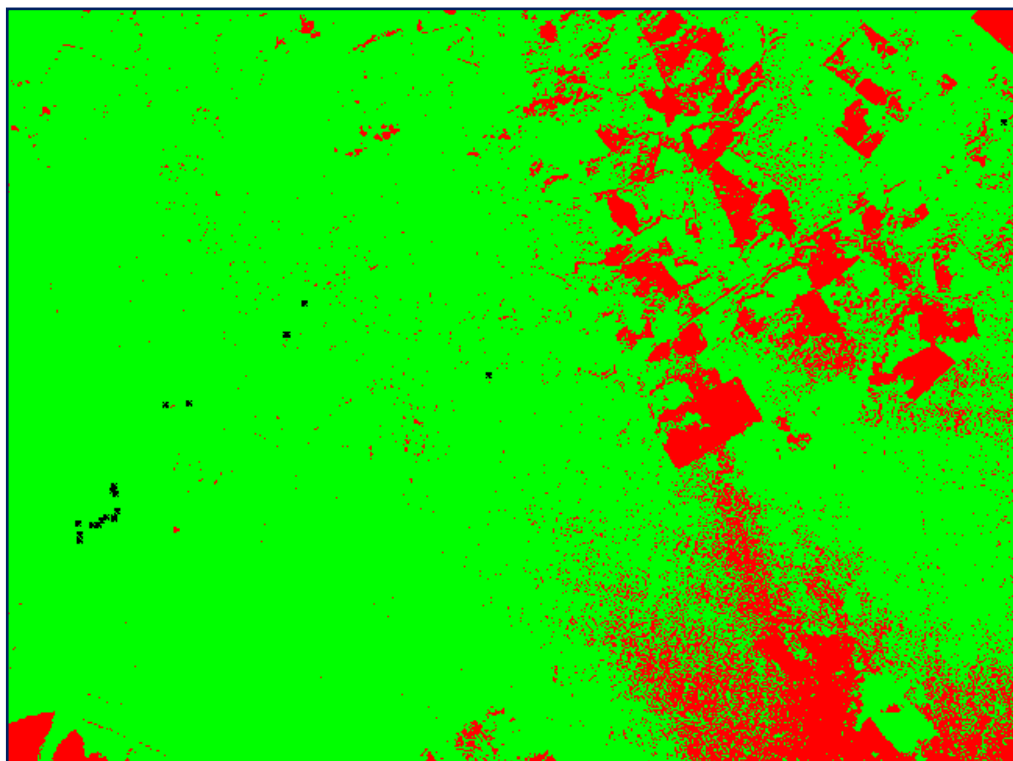


Figura 47 – Classificação Isodata do Talhão “6” e os pontos de controle em preto

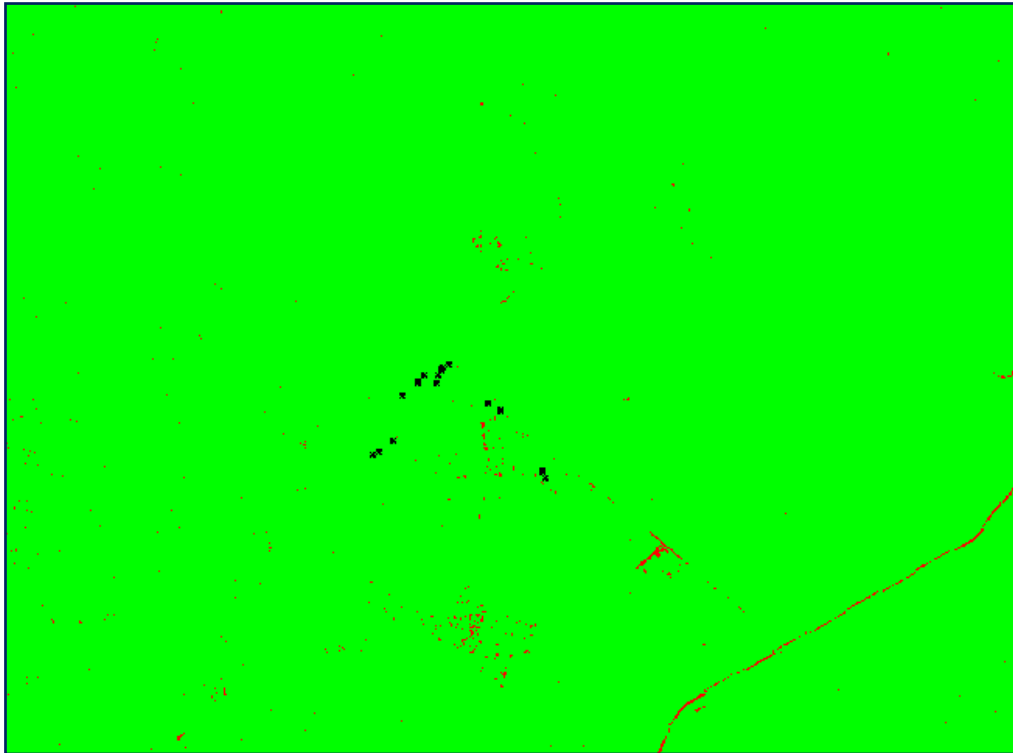


Figura 48 – Classificação Isodata do Talhão “7” e os pontos de controle em preto

5.5 Confeção da Matriz de Confusão

Na Matriz de Confusão confrontam-se os píxeis das imagens e avaliam-se os píxeis correctamente classificados, o que possibilita avaliar o desempenho da classificação principalmente para a classe “Alterada” ou “com alteração do copado florestal” e sua variabilidade, através do índice da avaliação da precisão ou exactidão total, que avalia a porcentagem de acerto do mapa, do índice *Kappa* e dos erros de omissão (píxeis omitidos de sua classe correcta e colocados em outra classe) e de comissão (píxeis incluídos na classe de maneira errônea).

Os resultados obtidos para o Talhão “2” encontram-se registados na Matriz de Confusão da Figura 49, onde é possível verificar que o coeficiente *Kappa* para o Talhão “2”, atingiu 79,72%, de forma que se encontra em um patamar de concordância substancial, ou seja, um desempenho considerado “Muito Bom” (Tabela 4).

Confusion Matrix: C:\MESTRADO SIG\DISSERTAÇÃO\NDVI\RASTER_NDVI\ISODATA_TALHÃO_2\ISO_TAL_2				
Overall Accuracy = (13324/14716) 90.5409%				
Kappa Coefficient = 0.7972				
Ground Truth (Pixels)				
Class	ALTERADA	INALTERADA	Total	
Unclassified	0	0	0	
Class 1	4634	0	4634	
Class 2	1392	8690	10082	
Total	6026	8690	14716	
Ground Truth (Percent)				
Class	ALTERADA	INALTERADA	Total	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	
Class 1	76.90	0.00	31.49	
Class 2	23.10	100.00	68.51	
Total	100.00	100.00	100.00	
Commission Omission				
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	23.10	0/4634	1392/6026
Class 2	13.81	0.00	1392/10082	0/8690
Prod. Acc. User Acc.				
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	76.90	100.00	4634/6026	4634/4634
Class 2	100.00	86.19	8690/8690	8690/10082

Figura 49 – Matriz de Confusão para o Talhão “2”, com *Kappa* de 79,72%

Tabela 4. Nível de Concordância dos Valores do Índice *Kappa* (Landis & Koch, 1977)

VALOR DE KAPPA	CONDORDÂNCIA	DESEMPENHO
0	Pobre	Péssimo
0 – 0,2	Ligeira	Ruim
0,21 – 0,4	Considerável	Razoável
0,41 – 0,6	Moderada	Bom
0,61 – 0,8	Substancial	Muito Bom
0,81 – 1,0	Excelente	Excelente

O limiar de alteração escolhido para o Talhão “2” foi o de “ $\mu - 1 \times \sigma$ ”, porém este valor não foi capaz de limitar os erros de omissão da classe “Alterada”, que atingiu 23,10%, o que significa que tal proporção de píxeis “Alterados” foi classificada como “Inalterados”, embora tenha sido capaz de impedir os erros de comissão, que ficou em 0,00% para a classe “Alterada”, o que se traduz em ausência de píxeis integrados a classes que não lhe pertencem.

Esta grande proporção de píxeis “Alterados” classificados como “Inalterados” ocorreu também com os resultados da Matriz de Confusão para os demais

talhões (resultados no anexo), isto porque os erros de omissão podem ser bastante comuns neste tipo de estudo, pois a diferença entre um píxel vegetado e um píxel com exploração seletiva é bastante sutil.

Para o Talhão “2” a acurácia global, que representa os píxeis classificados correctamente em relação ao total de píxeis foi de 90,54%. Para a classe “Alterada” a acurácia do produtor, que aponta a probabilidade um píxel ter sido correctamente classificado ficou em 76,90% e a acurácia do usuário que indica a probabilidade de um píxel do mapa representar sua classe na zona de estudo foi de 100,00%.

A metodologia foi aplicada nos demais talhões e obteve-se os resultados da Tabela 5, onde se verifica que os Talhões “2” e “3” se encontram em um nível de índice *Kappa* com patamar de concordância substancial, os Talhões “1” e “6” em patamar de concordância moderada e os Talhões “4”, “5” e “7” em patamar de concordância considerável, ou seja, mesmo se considerarmos a presença de ruído e nuvens, nos recortes de Imagens Diferença NDVI, escala 1:100.000 (Figuras 50 a 56), o desempenho da metodologia variou entre “Razoável” a “Muito Bom”, o que é bastante animador, mesmo porque estamos a tratar de detecção de corte seletivo da floresta.

Ressalta-se que não foram aplicadas técnicas de processamento digital para eliminação de ruídos, tal como, a utilização de filtros, para que estas ações não influenciassem nos resultados obtidos, pois, por exemplo, podemos suavizar as feições mas com perda de informações nas feições.

Tabela 5. Índice *Kappa* e Acurácia obtidos nos mapas temáticos dos Talhões em estudo

TALHÃO	ÍNDICE KAPPA (%)	ACURÁCIA GLOBAL (%)
1	45,37	73,30
2	68,11	88,55
3	61,02	95,90
4	30,41	81,25
5	36,62	91,48
6	55,92	84,38
7	28,02	91,24

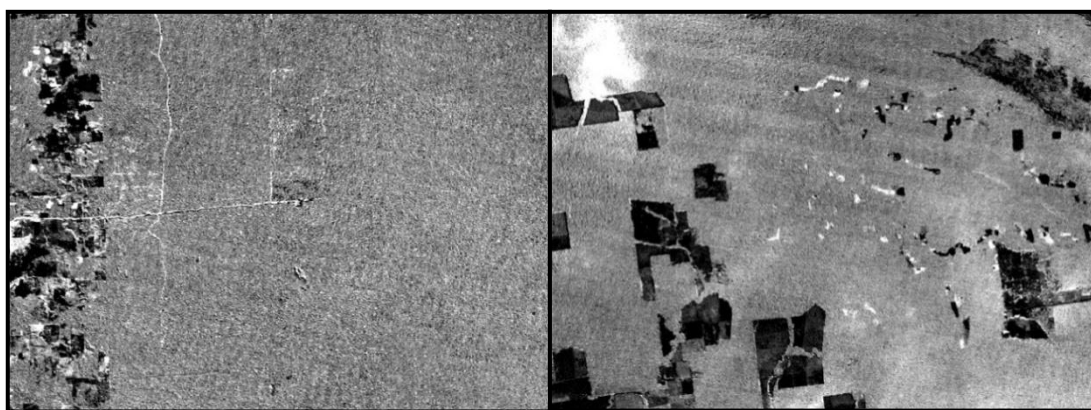


Figura 50: Imagem Diferença NDVI – Talhão “1” **Figura 51:** Imagem Diferença NDVI – Talhão “2”

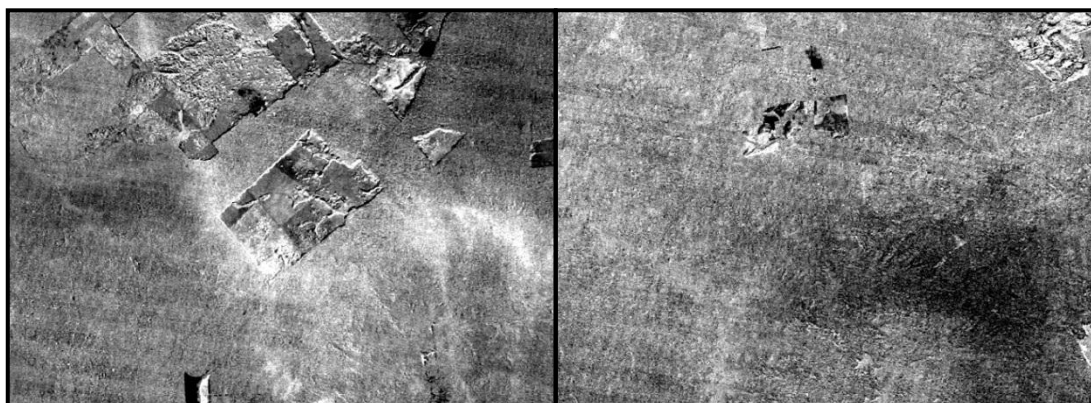


Figura 52: Imagem Diferença NDVI – Talhão “3” **Figura 53:** Imagem Diferença NDVI – Talhão “4”

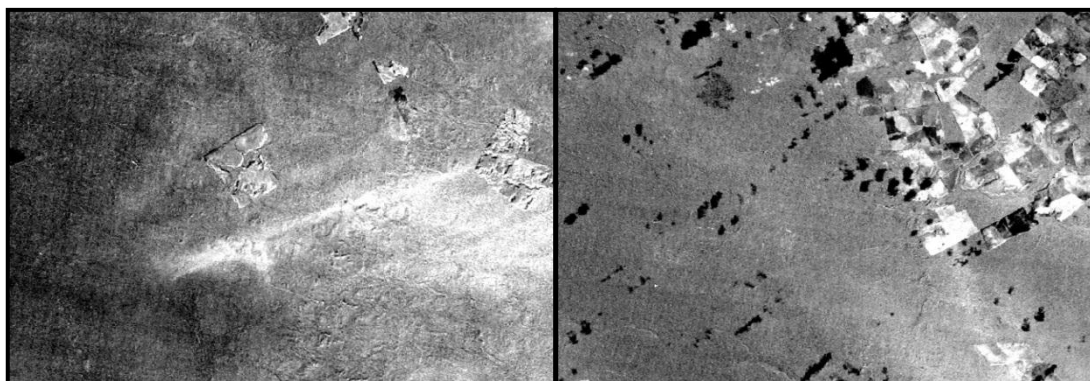


Figura 54: Imagem Diferença NDVI – Talhão “5” **Figura 55:** Imagem Diferença NDVI – Talhão “6”

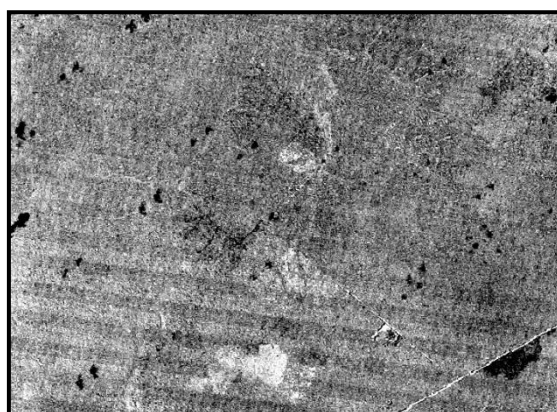


Figura 56: Imagem Diferença NDVI – Talhão “7”

O monitoramento das explorações ilegais nas florestas tropicais já se depara com situações bastante singulares, pois as explorações ilegais se apresentam cada vez mais seletivas, ao ponto de que em determinados sítios sejam exploradas apenas duas espécies de maior valor comercial. Tal condição exige que as metodologias a serem aplicadas no monitoramento tenham mais eficiência, sejam versáteis, de baixo custo e de menor exigência em material humano especializado.

A abordagem deste trabalho leva em consideração a presença de indicativos de exploração madeireira, a partir da distinção da reflectância dos alvos com solo exposto (pátios de estocagem, estradas e zonas de corte seletivo) e sem solo exposto (floresta original) e utiliza 125 pontos de controle como verdade de campo para subsidiar a metodologia proposta neste estudo.

Para detectar corte seletivo em floresta, diversos autores utilizaram diversos métodos, entre eles, interpretação visual (Santos et al., 2001) e índices de vegetação para obter imagens resultantes com estes indicativos detectados.

A metodologia apresentada neste trabalho busca obter um desempenho óptimo para a detecção da classe “Alterada”, uma vez que à classe floresta correspondem várias classes espectrais, que variam em virtude da densidade do povoamento, do tipo de floresta e das condições de iluminação, no caso das encostas.

A comparação das imagens antes e após a aplicação da metodologia proposta permitiu identificar de modo significativo zonas com ocorrência de exploração seletiva de madeira, evidenciada a partir do realce de pátios de estocagem, de estradas principais e secundárias, de ramais de arraste e de algumas zonas cujo copado florestal foi alterado com maior intensidade, ou seja, onde o indivíduo abatido alterou o píxel em uma magnitude capaz de ser detectada pelo limiar de alteração aplicado na Imagem Diferença NDVI.

Como em detecção de corte seletivo da floresta se trabalha com píxeis que sofreram pouca alteração dos valores de NDVI, o que por si só já é uma barreira, tal condição faz com que o método de aplicação de limiares de alteração em imagens diferença NDVI acabe por não detectar parte dos píxeis que sofreram alteração, ou seja, é certo que sempre haverá erros de omissão pela utilização deste método, mas também é certo que ele se apresenta como método de pouca complexidade e que pode ser utilizado pelas equipas de fiscalização e pelas forças governamentais de repressão a crimes ambientais.

6 - CONCLUSÕES

Na última década o Brasil se viu diante de um quadro no qual as políticas governamentais de incentivo à abertura de novas zonas eram as principais colaboradoras do desmatamento ilegal. Esta condição, aliada aos bons preços alcançados no mercado externo pela madeira nativa brasileira criou uma situação na qual ou se paralisava o desenvolvimento do *agribusiness*

brasileiro ou se tomavam medidas enérgicas de repressão à exploração ilegal de madeira que, claramente deixa uma herança na maioria das vezes de irreversível recuperação.

Assim, com a maior atuação dos órgãos fiscalizadores e repressores, como o IBAMA, ICMBio e a Polícia Federal, atingiu-se um patamar no qual as ferramentas de geoprocessamento e detecção remota são as principais armas na repressão aos delitos ambientais, pois representam economia de verbas públicas e celeridade na obtenção de resultados.

Por óbvio que ainda há um longo caminho a percorrer, mas há no Brasil a busca diuturna de metodologias mais eficientes na detecção de corte seletivo da floresta, quando se trata de utilizar imagens de média resolução espacial tal como Landsat-5 e ResourceSat-1, obtidas gratuitamente no *site* do INPE, que podem permitir a detecção de fraudes na aprovação e condução dos PMFS e PEF por parte dos funcionários públicos dos órgãos gestores ambientais, engenheiros florestais e detentores destes projectos, de forma a subsidiar adequadamente os órgãos de fiscalização e aperfeiçoar os processos de classificação.

Talvez a maior limitação deste método esteja na característica de que seja necessário o uso de imagens subsequentes à exploração para que os resultados sejam relevantes e suas maiores vantagens estejam em não exigir elevada capacidade e experiência do utilizador e não ser um processo demorado.

A adoção da metodologia de aplicação de limiares de detecção de alterações em Imagens Diferença NDVI poderia alcançar resultados muito mais relevantes se aplicadas a imagens de maior resolução espacial, mesmo de média resolução espacial, tais como as imagens de satélite EOS AM-1, sensor ASTER, bandas do VNIR (infravermelho próximo) e SWIR (infravermelho médio), com resolução espacial de 15 metros ou SPOT-4, monoespectral, sensor HRVIR, com resolução espacial de 10 metros, pois apresentaria diminuição substancial de píxeis erroneamente classificados, porém, actualmente no Brasil, os órgãos governamentais fiscalizadores e

repressores ainda não têm acesso a imagens de qualidade superior às imagens Landsat-5/TM utilizadas neste estudo. Em futuro breve, talvez tais problemas tenham sido solucionados, em virtude do crescimento econômico verificado nos últimos anos e a necessidade de melhorar as ferramentas de combate a delitos ambientais.

Deve-se ter em conta que as imagens de satélite, embora aparentemente de custo proibitivo, podem representar economia de recursos quando se pretende realizar a cobertura de grandes áreas, pois o aumento da demanda normalmente reduz os custos. Uma das soluções plausíveis talvez seja inicialmente, a união de esforços de diferentes órgãos governamentais senvíseis ao problema, na criação de um banco de imagens nacional para utilização mútua e, posteriormente, o lançamento de um satélite. Nesta esteira, o satélite sino-brasileiro CBERS-3 está com cronograma de lançamento previsto para fins de 2012 ou início de 2013, o satélite brasileiro Amazónia-1, com lançamento previsto para 2013 e órbita polar, irá gerar imagens do planeta a cada 4 dias, com 40 metros de resolução espacial, o que permitirá melhorar os dados de alertas de desmatamento na Amazónia, enquanto que o CBERS-4 encontra-se em fase de construção.

Neste momento, os avanços no mapeamento das feições indicativas de atividades de exploração seletiva de madeira ainda dependem de testes mais exaustivos, mas a metodologia aqui apresentada pode ser incorporada a um sistema de informação geográfica, uma vez que foi capaz de indicar com relativa precisão os sítios onde cortes seletivos foram executados e o que se busca é um monitoramento das áreas exploradas com corte seletivo com rapidez e a um custo baixo, o que já é suficiente para a tomada de decisões por parte dos órgãos fiscalizadores e repressores.

Desta forma, a metodologia apresentada é mais uma contribuição para o combate aos delitos ambientais florestais que assolam as florestas tropicais do planeta de maneira generalizada.

A união de esforços entre os países detentores dessas florestas pode auxiliar muito nesta tarefa, pois as características das fraudes na gestão

florestal são bastante semelhantes nos diversos sítios e tem como característica apresentar o seguinte tripé: detentor do projecto – fiscal corrupto – técnico responsável pela elaboração de inventários florestais fictícios (Figura 57).

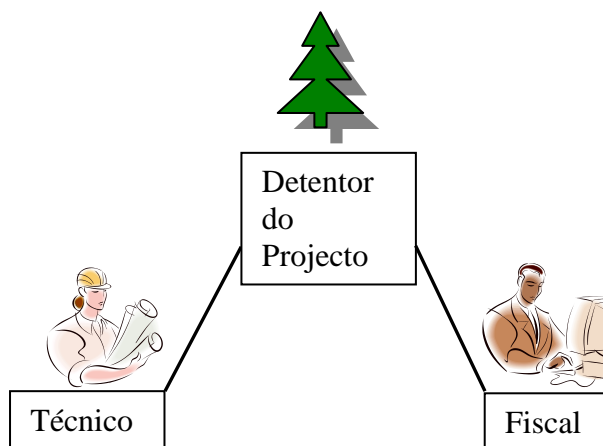


Figura 57 – Tripé da Fraude Florestal

Referências Bibliográficas

ARMAS, R.; CAETANO, M. 2004, *Scale effect on burned area assessment using earth observation data*, paper apresentado no 24th EARSEL Symposium on New Strategies for European Remote Sensing (Dubrovnik: European Association of Remote Sensing Laboratories).

ARMAS, R.; CAETANO, M., 2005, *Cartografia de zonas ardidas com imagens multirresolução do sensor Modis*. Actas da IV^a Conferência de Cartografia e Geodésia. Lidel - Edições Técnicas.

BARET, F.; GUYOT, G.; MAJOR, D. J., 1989, *Crop biomass evaluation using radiometric measurements*. Photogrammetria.

BARRETO, P.; ARAÚJO, E., 2012, *O Brasil atingirá sua meta de redução do desmatamento?* Belém, PA – Imazon.

BARROS, A. C.; VERÍSSIMO, A., 2002, *A Expansão madeireira na Amazônia: impacto e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará*, Belém, Imazon.

BRANDÃO Jr., A. O.; SOUZA Jr., C. M.; RIBEIRO, J. G. F.; SALES, M. H. R., 2007, *Desmatamento e estradas não oficiais da Amazônia*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 2357-2364.

BRYN, L. M., 2008, *Página Dinâmica para Aprendizado do Sensoriamento Remoto*. Porto Alegre: UFRGS/CEPSRM – Dissertação de Mestrado.

CABRAL, P.; GILG, J. P.; PAINHO, M., 2005, *Monitoring urban growth using remote sensing, GIS and spatial metrics, remote sensing and modeling of ecosystems for sustainability*. In Proceedings of SPIE – Optics & Photonics, San Diego, USA, 29 July to 4 August.

CAETANO, M.; BARBOSA, P. M., SANTOS, T. G., 2000, *Detection of changes in Forest Landcover Type after Fires in Portugal*. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing. Vol. XXXIII, Part B7, Amsterdã.

CAETANO, M.; CARRÃO, H.; FREIRE, S., 2002, *Methodology for Fire Risk Mapping – Premfire, Prevention and Mitigation of Forest Fires in Portugal*. PREMFIRES Project WP330 Report, 40 pp.

CAETANO, M.; CARRÃO, H.; PAINHO, M., 2005, *Alterações da ocupação do solo em Portugal Continental: 1985-2000*. Instituto do Ambiente, Amadora, Portugal.

CAETANO, M.; NUNES, A.; SANTOS, T., 2002, *Generalização de Cartografia de ocupação de solo derivada de Classificação de Imagens de Satélite ao nível do píxel*. Actas da IIIª Conferência de Cartografia e Geodésia. Lidel - Edições Técnicas.

CCRS, 2003, *Fundamentals of Remote Sensing, Remote Sensing Tutorial*, Canadian Centre for Remote Sensing.

CHEN, C. S.; TARDINA, A. T.; BATISTA, G. T., 1986, *Índices vegetativos e suas aplicações na agricultura*. São José dos Campos, INPE.

CHUVIECO, E., 1996, *Fundamentos de Teledetección Espacial*. Tercera edición revisada, ediciones Rialp, S. A., Madrid, 568 pp.

COLWELL, J. E., 1974, *Vegetation canopy reflectance*. Remote Sensing of Environment.

COUTINHO, A. C., 1997, *Segmentação e Classificação de Imagens Landsat-TM para o mapeamento dos usos da Terra na região de Campinas, SP*. Dissertação de Mestrado, Instituto de Biociências, Universidade de São Paulo.

DAUGHTRY, C. S. T.; HUNT Jr., E. R.; J. E. McMurtrey III, J. E., 2004, *Assessing Crop Residue Cover Using Shortwave Infrared Reflectance*. Remote Sensing of Environment.

DESCLÉE, B; BOGAERT, P.; DEFOURNY, P., 2006, *Forest change detection by statistical object-based method*. Remote Sensing of Environment.

EMBRAPA; INPE, 2011, *TerraClass 2008: Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia*. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e Instituto Nacional de Pesquisas Agropecuárias.

ESPÍRITO-SANTO, F. D. B.; SHIMABUKURO, Y. E.; SANTOS, J. R.; KUPLICH, T. M., 2005, *Classificação semi-automática de imagens multitemporais Landsat para a determinação dos estágios sucessionais de uma zona de desflorestação na Amazônia*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1517-1524.

FEARNSIDE, P. M., 2005, *Deforestation in Brazilian Amazonia: history, rates, and consequences*. Conservation Biology.

FERREIRA, L. V.; VENTICINQUE, E.; ALMEIDA, S., 2005, *O desmatamento na Amazônia e a importância das zonas protegidas*. Instituto de Estudos Avançados, Universidade de São Paulo.

FIETZ, C. R. et al., 2008, *Estimativa da precipitação provável para o Estado de Mato Grosso*. Dourados, MS: Embrapa Agropecuária Oeste.

FLORENZANO, T. G., 2007, *Iniciação em Sensoriamento Remoto*. São Paulo: Oficina de Textos.

GOMES, A. P. C., 2000, *Critérios e Indicadores de Sustentabilidade para o Manejo de Florestas Tropicais*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa.

GRAÇA, P. M. L. A.; SANTOS, J. R.; SOARES, J. V.; SOUZA, P. E. U., 2005, *Desenvolvimento metodológico para detecção e mapeamento de zonas florestais sob exploração madeireira: estudo de caso, região norte do Mato Grosso*. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, INPE.

GUYOT, G.; GUYON, D.; RIOM, J., 1989, *Factors affecting the spectral response of forest canopies: a review*. Geocarto International.

GUYOT, G., 1990, *Optical properties of vegetation canopies*. In: STEVEN, M. D.; CLARK, J. A. (Ed.). *Applications of remote sensing in agriculture*. London: Butterworths.

HOFFER, R. M., 1978, *Biological and physical consideration in applying computer-aided analysis techniques to remote sensor data*. In: *Remote Sensing : The Quantitative Approach*, eds P.H. Swain and: S. Davis. Mc Grave –Hill. New York.

HOWARD, J. A., 1991, *Remote Sensing of Forest Resources – Theory and Application*. London: Ed. Chapman & Hall, 436 p..

HUETE, A. R., 1988, *A Soil-Adjusted Vegetation Index (SAVI)*. *Remote Sensing of Environment*, New York, v. 25, n. 3, p 295-309.

HUETE, A. R.; TUCKER, C. J., 1991, *Investigation of soil influence in AVHRR red and near infrared Vegetation index imagery*. *International Journal of Remote Sensing*.

INPE, 2004, *Monitoramento da floresta amazônica brasileira por satélite: 2002 – 2003*. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, Brasil.

JENSEN, J. R., 1996, *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 2ª ed. Upper Saddle River: Prentice-Hall.

KAECHELLE, K. T., 2007, *A Redução Compensada do desmatamento no Mato Grosso: uma análise econômico-ecológica*. Dissertação de mestrado, PROCAM, Universidade de São Paulo.

KAUFMAN, Y. J.; TANRÉ, D., 1992, *Atmospherically Resistant Vegetation Index (ARVI) for EOS-MODIS*. IEEE Trans. Geosci. Remote Sensing.

KNIPLING, E. B., 1970, *Physical and physiological basis for the reflectance of visible and near-infrared radiation from vegetation*. Remote Sensing of Environment.

LENTINI, M.; PEREIRA, D.; CELENTANO, D.; PEREIRA, R., 2005, *Fatos Florestais da Amazônia 2005*. Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, Belém.

LYON, J. G.; YUAN, D.; LUNETTA, R. S.; ELVIDGE, C. D., 1998, *A change detection experiment using vegetation indexes*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing.

LOUZADA, F. L. R. O. et al., 2009, *Análise da Cobertura Florestal por meio da subtração de imagem NDVI na Floresta Nacional de Pacotuba, Cachoeiro do Itapemirim, ES*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3995-4001.

LU, D.; MAUSEL, P.; BRONDÍZIO, E.; MORAN, E., 2004, *Relationships between forest stand parameters and Landsat TM spectral responses in the Brazilian Amazon Basin*. Forest Ecology and Management.

LUNETTA, R. S. et al., 2004, *Impacts of Temporal Frequency on Land-Cover Change Detection Monitoring*. Remote Sensing of Environment. New York: Elsevier Science Inc., n. 89, p. 444-454.

MACHADO, A. F. S., 2005, *Desenvolvimento metodológico para actualização da cartografia CORINE Land Cover simplificada com base em análise de imagens orientada por objectos*. Isegi – Universidade Nova de Lisboa.

MATHER, P., 1993, *Computer processing of remotely-sensed images: an introduction* (John Wiley & Sons).

MEYER, C. A., 2008, *Application of remote sensing methods to assess the spatial extent of the seagrass resource in St. Joseph Sound and Clearwater Harbor, Florida, U.S.A.* Thesis of Master of Arts, University of South Florida.

MONTEIRO, A.; CONRADO, D.; CARDOSO, D.; VERÍSSIMO, A.; SOUZA Jr., C., 2011, *Boletim Transparência Manejo Florestal Estado do Mato Grosso (Agosto de 2009 a Julho de 2010)* (p. 16). Belém.

MONTEIRO, A. L. S., 2005, *Monitoramento de Indicadores de Manejo Florestal na Amazônia Legal utilizando Sensoriamento Remoto*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

MOREIRA, M. A., 1997, *Déficit hídrico na cultura do trigo e o impacto na resposta espectral e em parâmetros agrônômicos*. 142 p. Tese (Doutorado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba.

MOREIRA, M. A., 2011, *Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação* – 4. ed. Atual. e ampl. – Viçosa, MG: Ed. UFV.

NOVO, E. M. L. M., 2008, *Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações*. Editora Blucher, São Paulo.

NUNES, A. C. M., 2007, *Detecção automática de alterações do coberto florestal com imagens de satélite de grande e muito grande resolução espacial*. Dissertação de mestrado, ISEGI-UNL, Lisboa.

PAINHO, M; CAETANO, M., 2006, *Cartografia de Ocupação do Solo, Portugal Continental, 1985-2000*. Instituto do Ambiente, Amadora, Portugal.

PANTOJA, N. V., 2010, *Técnicas de Processamento de Imagens Digitais para Detecção de Feições Associadas ao Corte Seletivo de Madeira na Amazônia*. Dissertação de mestrado, INPE, São José dos Campos.

PEARSON, T. R. H.; BURSLEM, D. F. R. P.; GOERIZ, R. E.; DALLING, J. W., 2003, *Interactions of gap size and herbivory on establishment, growth and survival of three species of neotropical pioneer trees*. Journal of Ecology 91:785-796.

PEREIRA, J. M. C., 1999, *A comparative evaluation of NOAA/AVHRR vegetation indexes for burned surface detection and mapping*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing.

PIRANI, A. M., 2007, *Análise do Componente Manejo Florestal Madeireiro do Programa Zona Franca Verde no Estado do Amazonas: Da Intenção à Ação*. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Amazonas, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E., 2007, *Sensoriamento remoto no estudo da vegetação*. São José dos Campos, SP: A. Silva Vieira Ed..

RENNÓ, C. D., 1998, *Avaliações das incertezas nas classificações de máxima verosimilhança e contextual de modas condicionais iterativas em imagens Jers na região de Tapajós, Estado do Pará*. Trabalho apresentado como parte do curso de Análise Espacial, INPE, São José dos Campos.

RIBEIRO, J. R. D. P., 2007, *A Detecção Remota no Inventário Florestal*. Dissertação de mestrado, ISEGI-UNL, Lisboa.

RIBEIRO, S. R. A.; SCALEA, R. A.; CONEGLIAN, F. M.; OLIVEIRA, P. M., 2009, *Classificação supervisionada de imagens orbitais de diferentes resoluções radiométricas*. Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 1012-1020.

RICHARDS, J. A.; JIA, X., 1999, *Remote sensing digital image analysis: an introduction*. 3. ed. New York: Springer-Verlag.

ROSENFELD, G. H.; FITZPATRICK-LINS, K., 1986, *A coefficient of agreement as a measure of thematic classification accuracy*. Photogrammetric Engineering and Remote Sensing, v.52, p.223-227.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL, J. A.; DEERING, D. W., 1973, *Monitoring vegetation systems in the Great Plains with ERTS*. In 3rd ERTS Symposium, NASA SP-351 I, pp. 309–317.

SABOGAL, C. et ali., 2006, *Manejo Florestal Empresarial na Amazônia Brasileira*. Belém: CIFOR, 2006.

SALOMÃO, R.P; VIEIRA, I.C.G; SUEMITSU, C.; ROSA, N.A.; ALMEIDA, S.S.; AMARAL, D.D.; MENEZES, M.P.M., 2007, *As florestas de Belo Monte na grande curva do rio Xingu, Amazônia Oriental*. Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi. Ciências Naturais 2(3): 57-153

SALVADOR, R.; VALERIANO, J.; PONS, X.; DÍAZ-DELGADO, R., 2000, *A semiautomatic methodology to detect fire scars in shrubs and evergreen forests with Landsat MSS time series*. International Journal of Remote Sensing.

SANTOS, J. R.; KRUG, T.; ARAÚJO, L. S.; MEIRA FILHO, G.; ALMEIDA, C. A., 2001, *Dados multitemporais TM/Landsat aplicados ao estudo da dinâmica de exploração madeireira na Amazônia*. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Foz do Iguaçu.

SANTOS, A. M.; GALVÍNCIO, J. D.; MOURA, M. S. B., 2008, *Aplicação do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para identificação da cobertura fitogeográfica da bacia hidrográfica do Rio Goiana-PE*. II Simpósio de Geografia Física do Nordeste, João Pessoa, Paraíba.

SANTOS, R. P., 2010, *Os principais factores do desmatamento na Amazônia (2002-2007) – uma análise econométrica e espacial*. Dissertação de mestrado, UNB, Brasília.

SHIMABUKURO, M. T., 1996, *Avaliação de classificadores espectrais de imagens Landsat-TM em zonas rurais densamente ocupadas*. Dissertação de mestrado, UNICAMP, Campinas.

SHIMABUKURO, Y. E.; DUARTE, V.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C., 1999, *RGB shade fraction images derived from multitemporal Landsat TM data for studying deforestation in the Brazilian Amazon*. International Journal of Remote Sensing, v. 20, n. 4, p. 643-646.

SILVA, F. B.; FONSECA, L. M. G.; VALERIANO, D. M.; SHIMABUKURO, Y. E., 2009, *Identificação de Processos de Desmatamento Seletivo na Região Amazônica utilizando Dados Orbitais e Técnicas de Processamento Digital de Imagens*. Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 3043-3049

SILVA, M. L. M. & PEREIRA, G. P. M., 2007, *Avaliação de algoritmos de classificação supervisionada para imagens do Cbers-2 da Região do Parque Estadual do Rio Doce-MG*. Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 6223-6228.

SINGH, A., 1989, *Digital change detection techniques using remotely-sensed data*. International Journal of Remote Sensing, vol. 10, n. 6, pp. 989-1003.

SOUZA JR., C.; BARRETO, P., 2001, *Aplicações de Geoprocessamento no Controle Florestal – Anexo I – Projeto II – Desenvolvimento de Sistema Geral de Licenciamento e Controle*. Relatório Técnico do Imazon, Belém.

SUNAR, F.; Özkan, C., 2001, *Forest fire analysis with remote sensing data*. International Journal of Remote Sensing.

TEWOLD, M. G.; CABRAL, P., 2011, *Urban Sprawl Analysis and Modelling in Asmara, Eritrea*. International Journal of Remote Sensing.

TODD, S.W.; HOFFER, R.M., 1998, *Responses of spectral indices to variations in vegetation cover and soil background*. Photogrammetric Engineering & Remote Sensing, Bethesda, v.64,n.9, p.915-921.

TUCKER, C. J.; GARRETT, M. W., 1977, *Leaf optical system modeled as stochastic process*. Applied Optics.

UHL, C.; BARRETO, P.; VERÍSSIMO, A.; BARROS, A. C.; AMARAL, P.; GERWING, J.; JOHNS, J.; VIDAL, E., 1997, *An integrated research approach to address natural resource problems in the Brazilian Amazon*. Bioscience.

VIDAL, E.; JOHNS, J.; GERWING, J.; BARRETO, P.; UHL, C., 1998, *Manejo de Cipós para a Redução do Impacto da Exploração Madeireira na Amazônia Oriental*. Série Amazônia nº 13 – Belém: Imazon.

VYGODSKAYA, N. N.; GORSHKOVA, I.; FADEYEVA, Ye, V., 1989, *Theoretical estimates of sensitivity in some Vegetation indices to variation in the canopy condition*. International Journal of Remote Sensing.

WATRIN, O. S.; ROCHA, A. M. A., 1992, *Levantamento da vegetação natural e do uso da terra no Município de Paragominas (PA) utilizando imagens TM/LANDSAT*. Boletim de Pesquisa, 124, Embrapa/CPATU, Belém, PA.

WHITE, K; WALDEN, J.; DRAKE, N.; ECKARDT, F.; SETTLE, J., 1997, *Mapping the iron oxide content of dune sands, Namib Sand Sea, Namibia, using Landsat Thematic Mapper data*. Remote Sensing of Environment.

WIEGAND, C. L.; GANSMAN, H. W.; CUELLAR, J. A.; GERGBERMAN, A. H.; RINCHARDSON, A. J., 1974, *Vegetation density as deduced from ERTS-1MSS response*. In: Proceedings ERTS SIMPOSIUM, Washington. Proceedings. Washington, DC.

ANEXOS

Anexo 1. Limiares de Alteração

Nas Tabelas A1.1 a A1.7 a seguir, podem ser visualizados os intervalos utilizados e os valores obtidos após sua aplicação, na busca do melhor limiar de alteração para cada recorte da Imagem Diferença NDVI dos Talhões objetos dos estudos. Na obtenção dos limiares foram utilizados os valores da média e do desvio padrão dessas imagens e o melhor limiar para cada talhão encontra-se em negrito.

Tabela A1.1: Melhor intervalo para o Talhão “1”

INTERVALO	RESULTADO
Média – 1 Desvio	- 0,095087433
Média – 1,25 Desvio	- 0,108963139
Média – 1,5 Desvio	- 0,122838845
Média – 1,75 Desvio	- 0,136714551

Tabela A1.2: Melhor intervalo para o Talhão “2”

INTERVALO	RESULTADO
Média – 0,75 Desvio	- 0,01398512775
Média – 1 Desvio	- 0,03638598000
Média – 1,25 Desvio	- 0,05878683225
Média – 1,5 Desvio	- 0,08118768450

Tabela A1.3: Melhor intervalo para o Talhão “3”

INTERVALO	RESULTADO
Média – 1 Desvio	- 0,02241448900
Média – 1,25 Desvio	- 0,03483601275
Média – 1,5 Desvio	- 0,04725753650
Média – 1,75 Desvio	- 0,05967906025

Tabela A1.4: Melhor intervalo para o Talhão “4”

INTERVALO	RESULTADO
Média – 1,25 Desvio	- 0,0899678035
Média – 1,5 Desvio	- 0,1008518690
Média – 1,75 Desvio	- 0,1117359345
Média – 2 Desvio	- 0,1226200000

Tabela A1.5: Melhor intervalo para o Talhão “5”

INTERVALO	RESULTADO
Média – 0,5 Desvio	- 0,03945362650
Média – 0,75 Desvio	- 0,05567208075
Média – 1 Desvio	- 0,07189053500
Média – 1,25 Desvio	- 0,08810898925

Tabela A1.6: Melhor intervalo para o Talhão “6”

INTERVALO	RESULTADO
Média – 0,5 Desvio	- 0,02929301400
Média – 0,75 Desvio	- 0,04808268425
Média – 1 Desvio	- 0,06687235500
Média – 1,25 Desvio	- 0,08566202575

Tabela A1.7: Melhor intervalo para o Talhão “7”

INTERVALO	RESULTADO
Média – 2,25 Desvio	- 0,02287460725
Média – 2,5 Desvio	- 0,03058137250
Média – 2,75 Desvio	- 0,03828813775
Média – 3 Desvio	-0,04599490300

Anexo 2: Histograma original das Imagens Diferença NDVI dos Talhões

Para melhor compreensão e análise das mudanças ocorridas em mapas de NDVI obtidos em diferentes datas, aplicam-se os limiares de alteração baseados no histograma das Imagens Diferença NDVI. Os histogramas das Imagens Diferença NDVI dos Talhões podem ser visualizados nas figuras A2.1 a A2.7 a seguir.

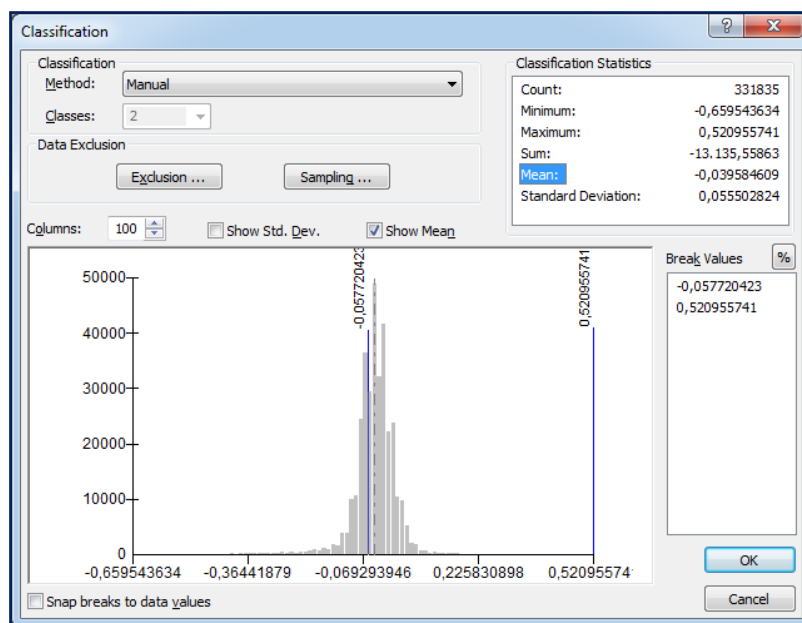


Figura A2.1 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 1 com valor da média em - 0,039584609 e desvio padrão em 0,055502824

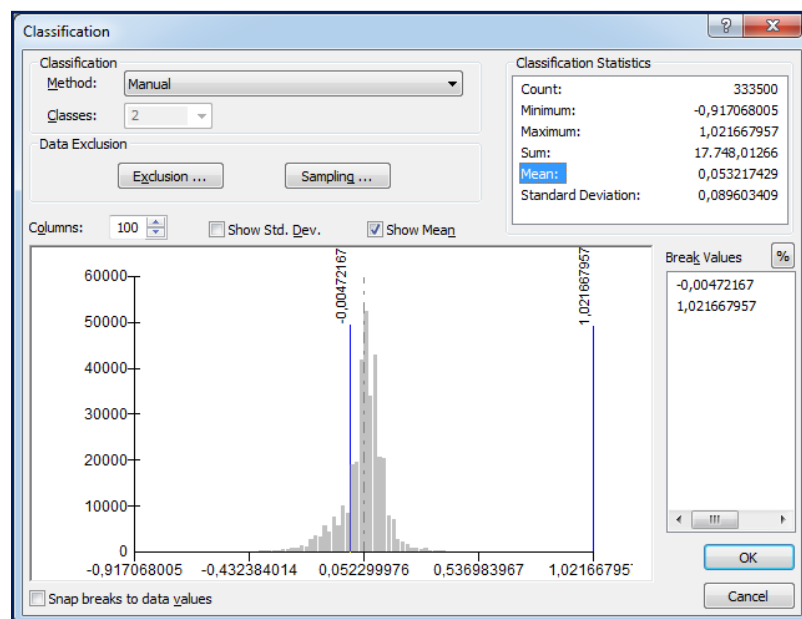


Figura A2.2 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 2 com valor da média em 0,053217429 e desvio padrão em 0,089603409

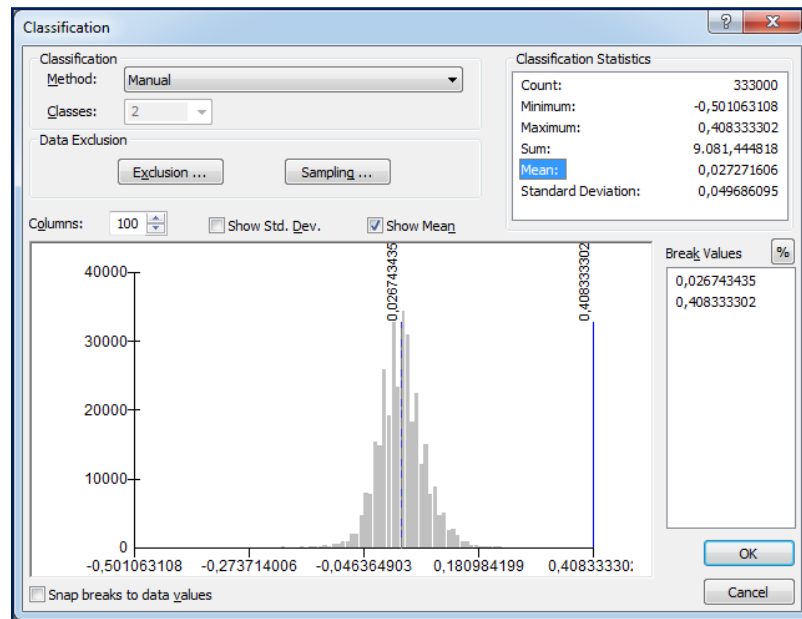


Figura A2.3 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 3 com valor da média em 0,027271606 e desvio padrão em 0,049686095

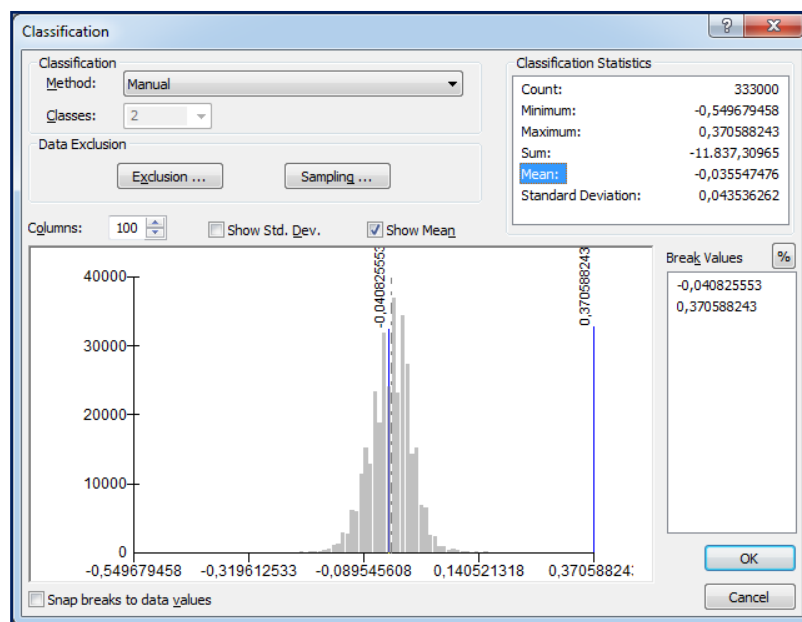


Figura A2.4 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 4 com valor da média em -0,035547476 e desvio padrão em 0,043536262

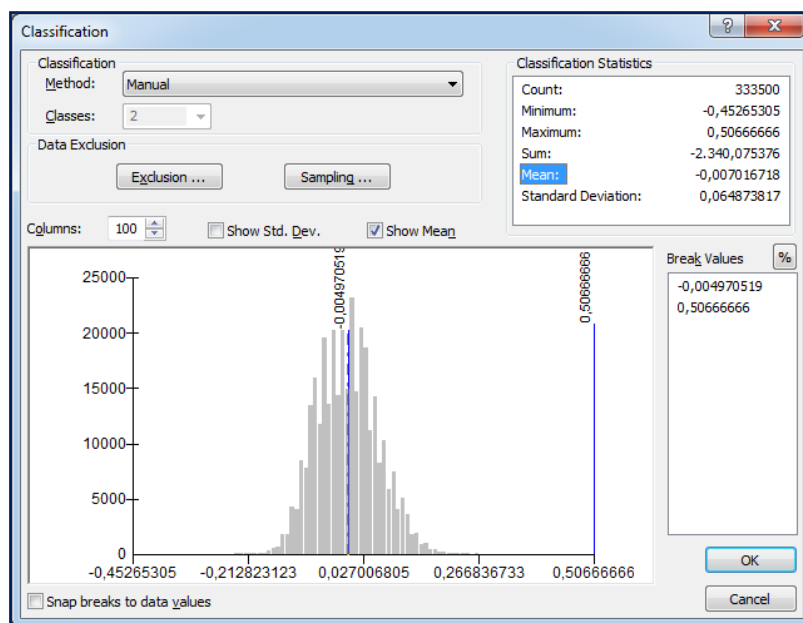


Figura A2.5 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 5 com valor da média em $-0,007016718$ e desvio padrão em $0,064873817$

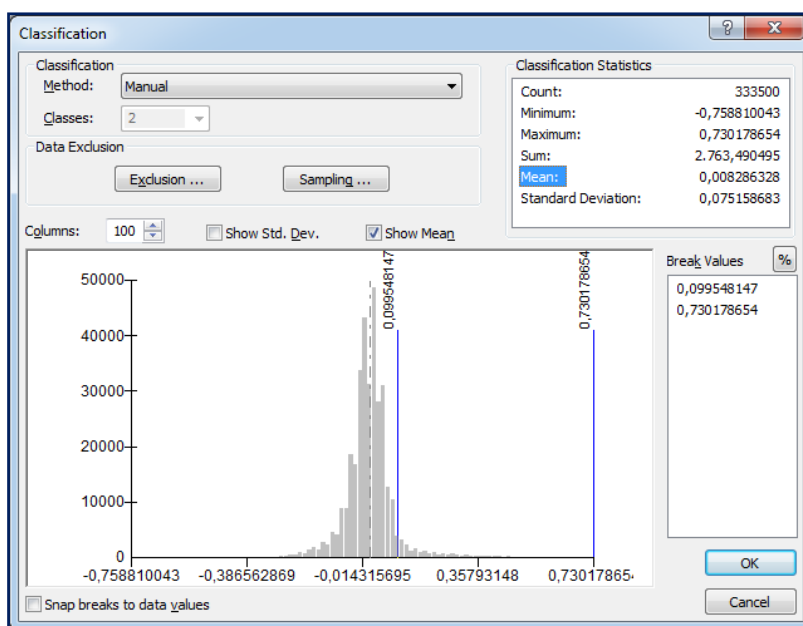


Figura A2.6 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 6 com valor da média em $-0,008286328$ e desvio padrão em $0,075158683$

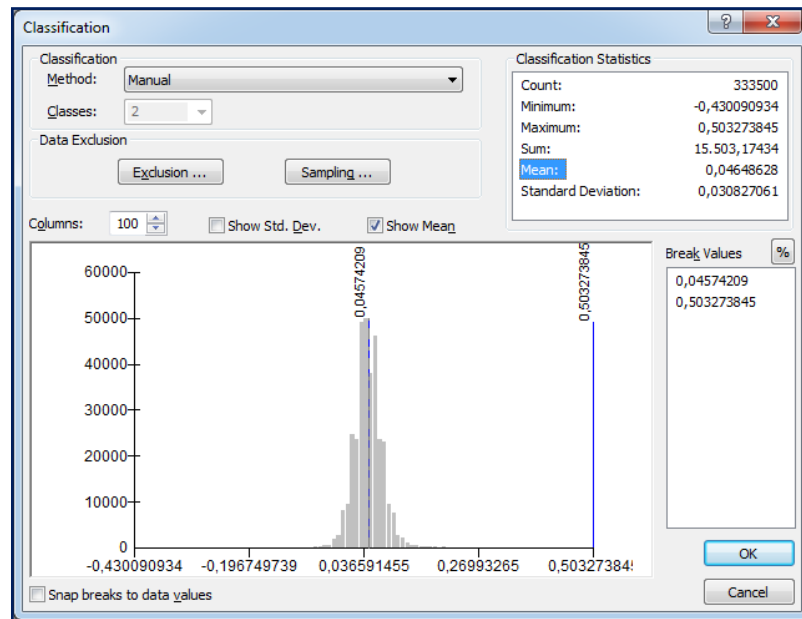


Figura A2.7 – Histograma original da Imagem Diferença NDVI do Talhão 7 com valor da média em 0,04648628 e desvio padrão em 0,030827061

Anexo 3. Aplicação dos Limiares de Alteração

Para os recortes das Imagens Diferença NDVI dos Talhões objetos do estudo, foram estabelecidas duas classes através da aplicação de limiares de alteração baseados no desvio padrão, obtidos pela análise estatística dos dados da imagem, com o uso da ferramenta “classify” do ArcGis 10.0. Os histogramas e os respectivos mapas temáticos foram reproduzidos nas Figuras A3.1 a A3.58 a seguir.

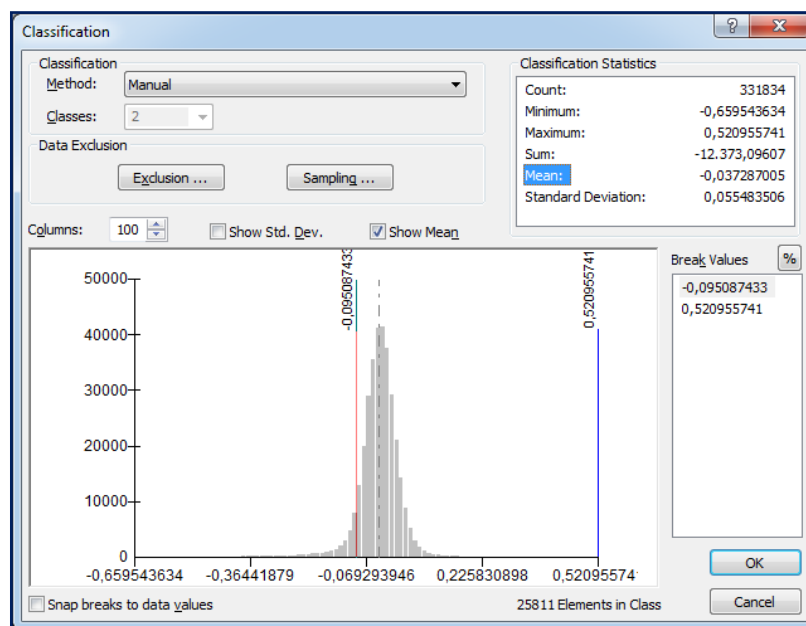


Figura A3.1: Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1 \times \sigma$)

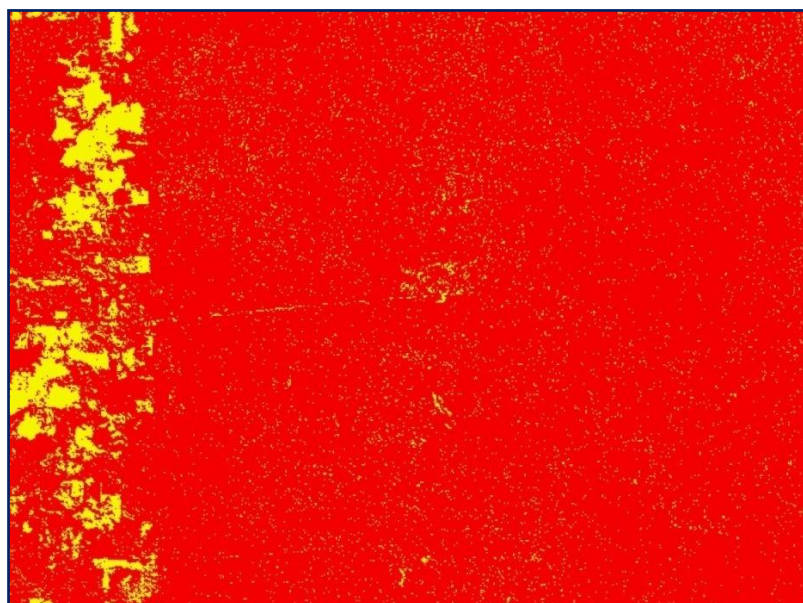


Figura A3.2 – Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “1”

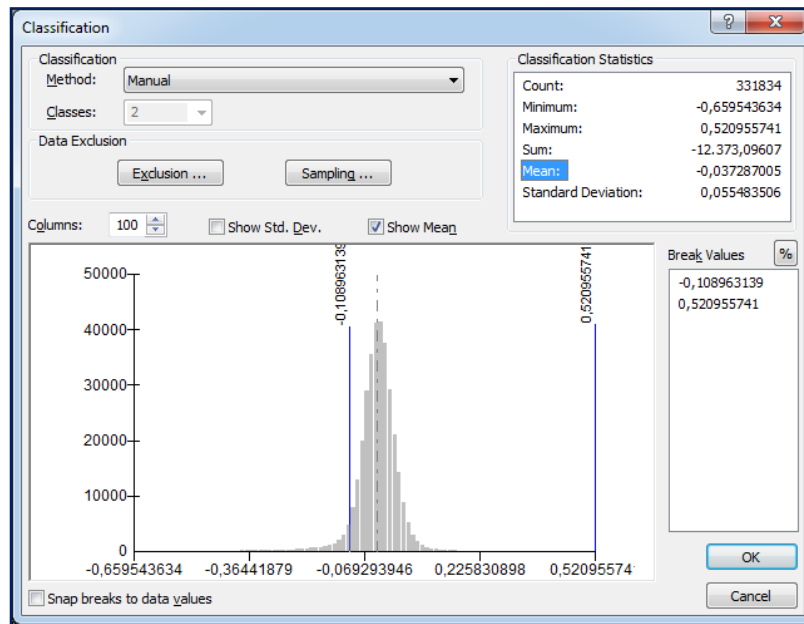


Figura A3.3 – Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)

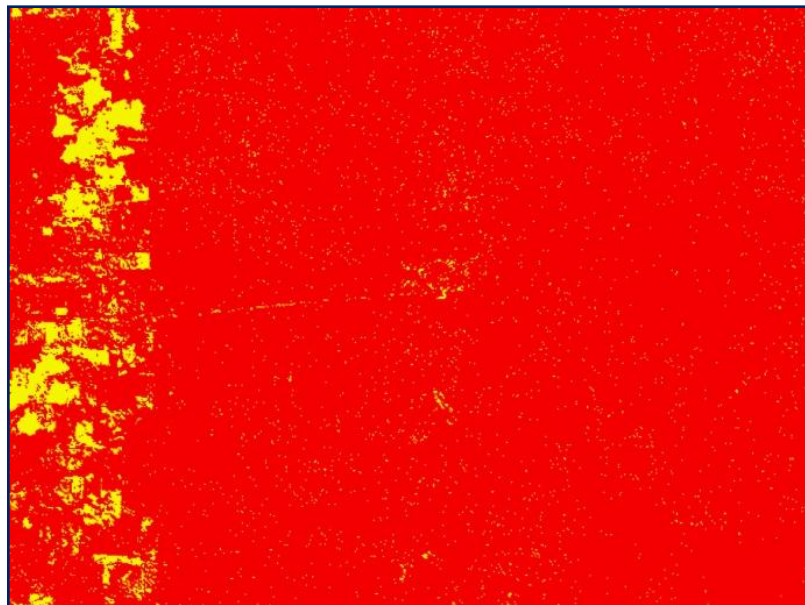


Figura A3.4 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “1”

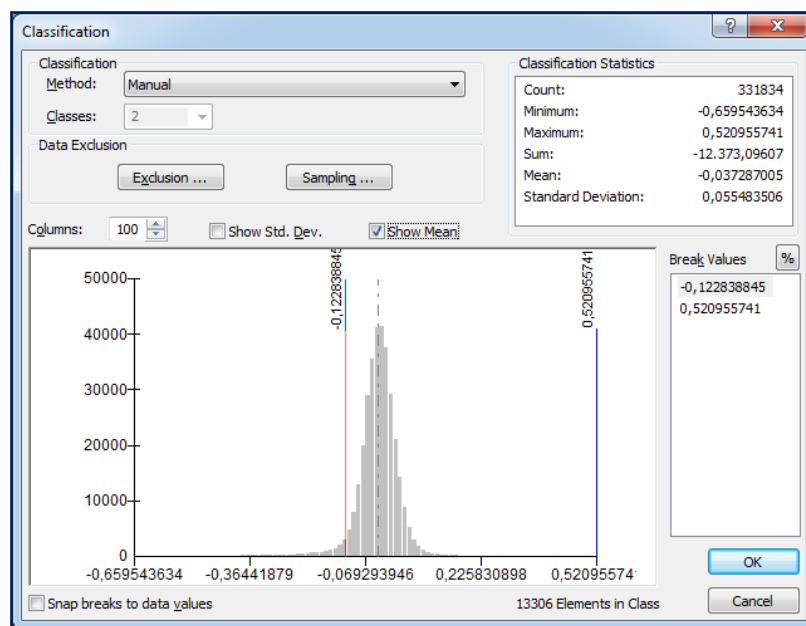


Figura A3.5 – Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)

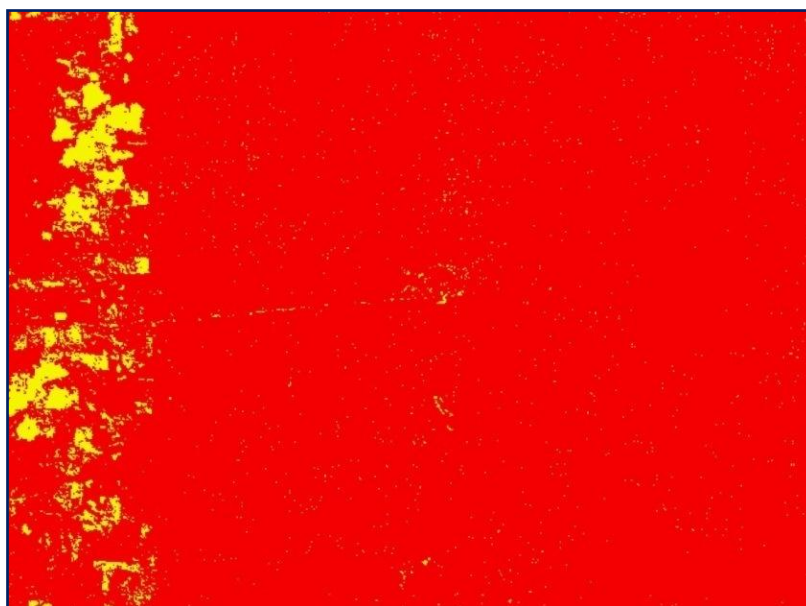


Figura A3.6 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “1”

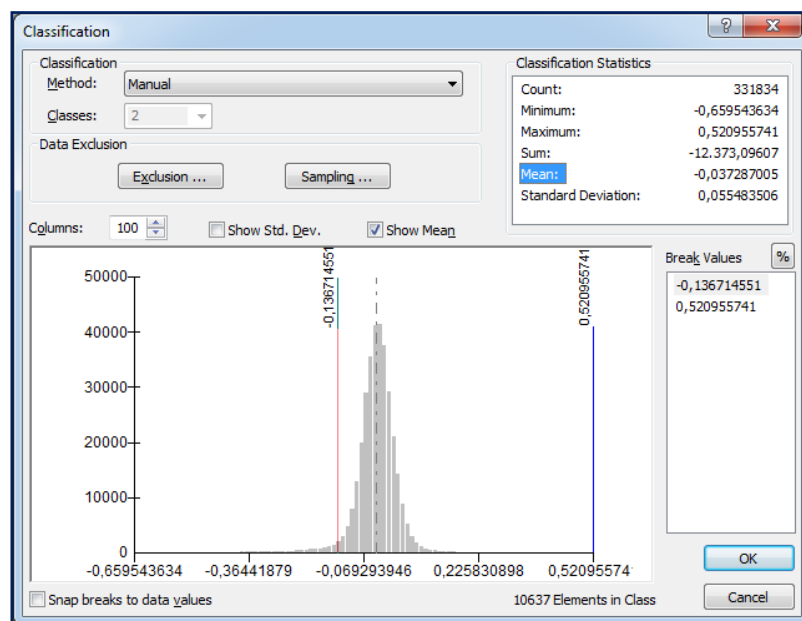


Figura A3.7 – Histograma do Talhão “1” ($\mu - 1,75 \times \sigma$)

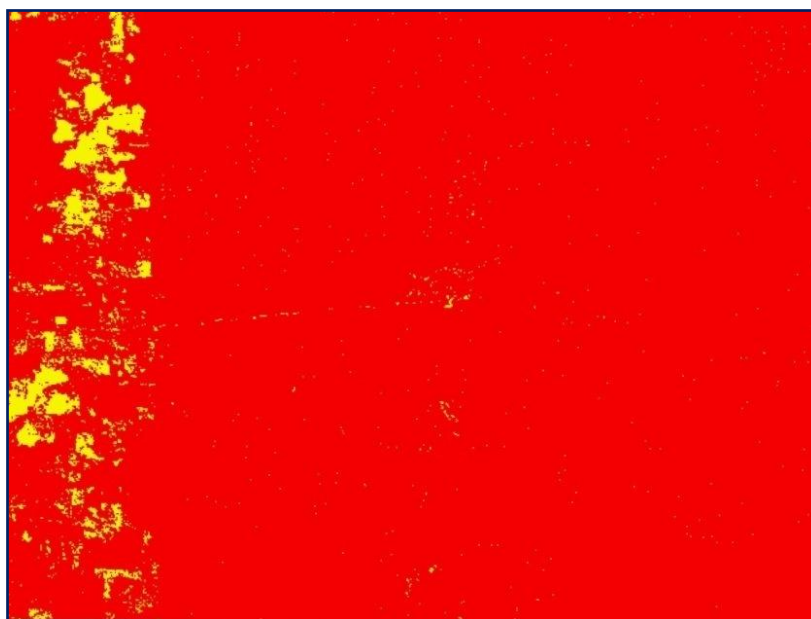


Figura A3.8 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,75 \times \sigma$ no Talhão “1”

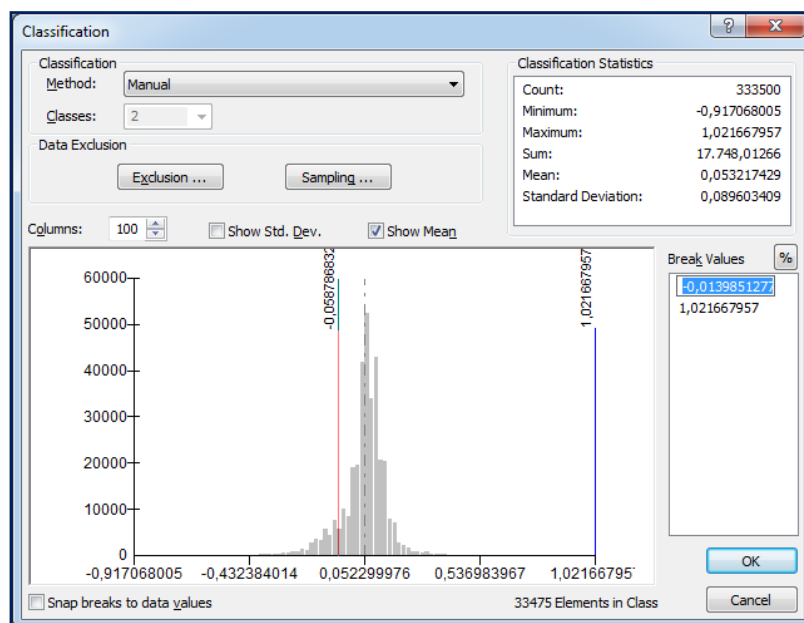


Figura A3.9 – Histograma do Talhão “2” ($\mu - 0,75 \times \sigma$)

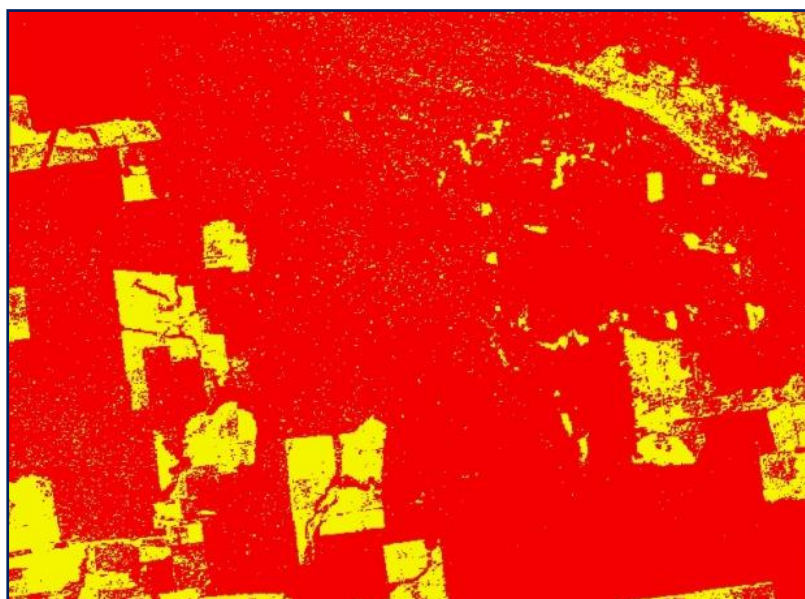


Figura A3.10 – Mapa temático gerado com $\mu - 0,75 \times \sigma$ no Talhão “2”

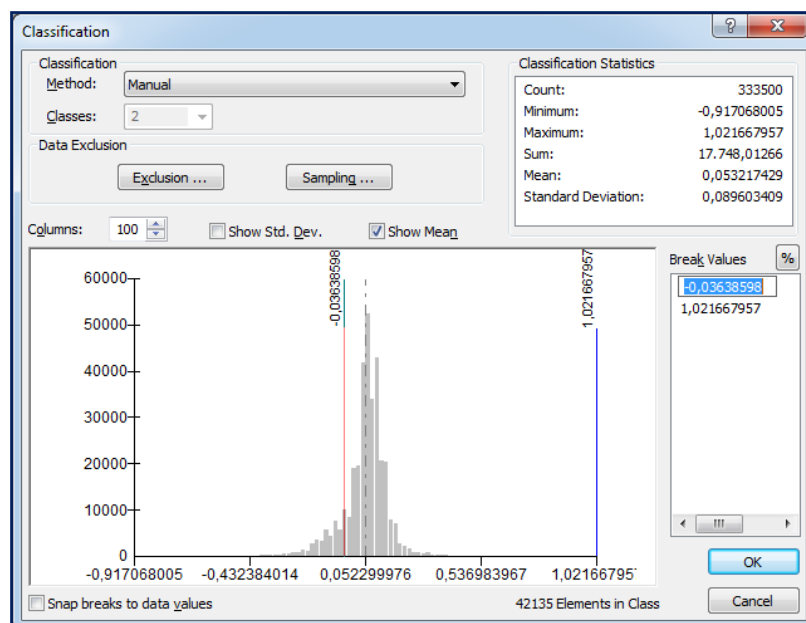


Figura A3.11 – Histograma do Talhão “2” ($\mu - 1 \times \sigma$)

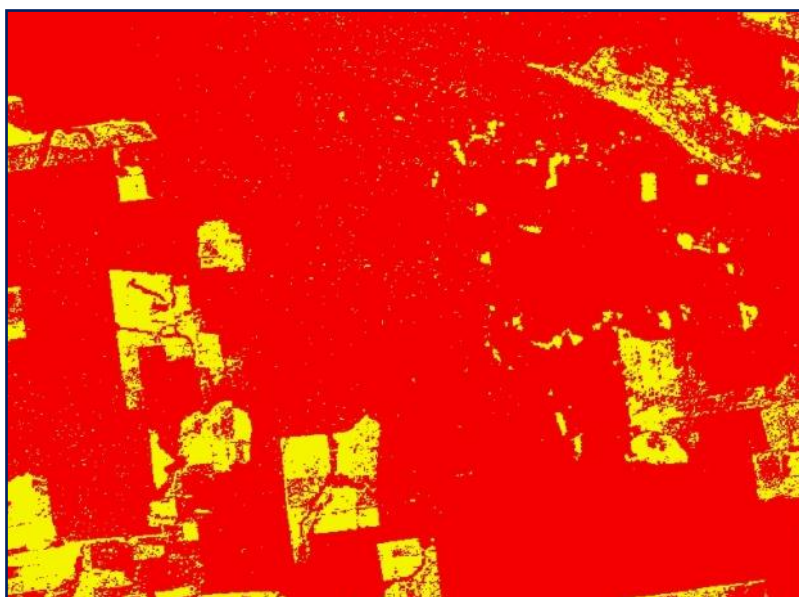


Figura A3.12 – Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “2”

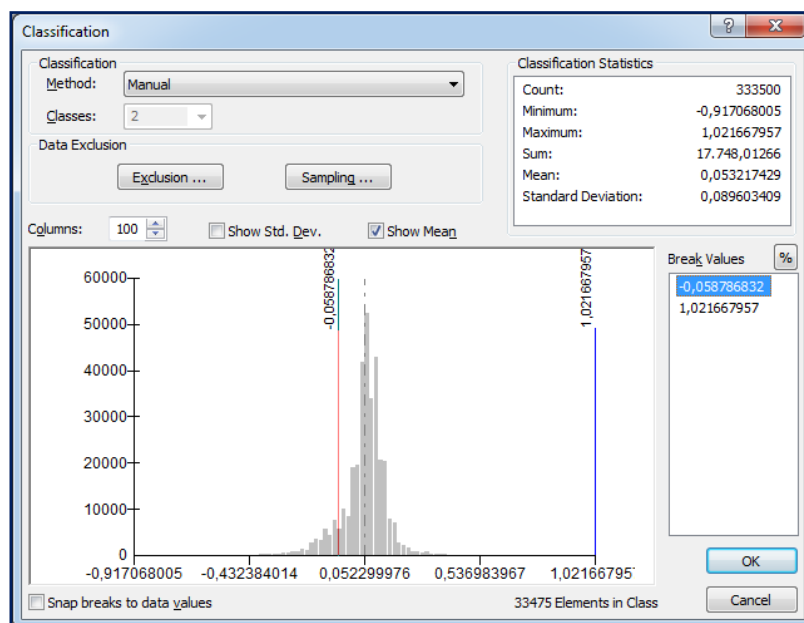


Figura A3.13 – Histograma do Talhão “2” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)

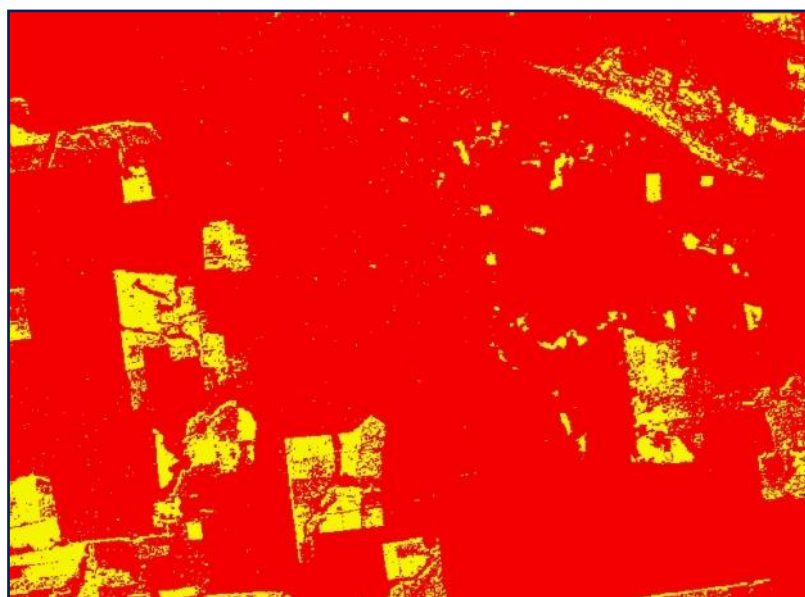


Figura A3.14 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “2”

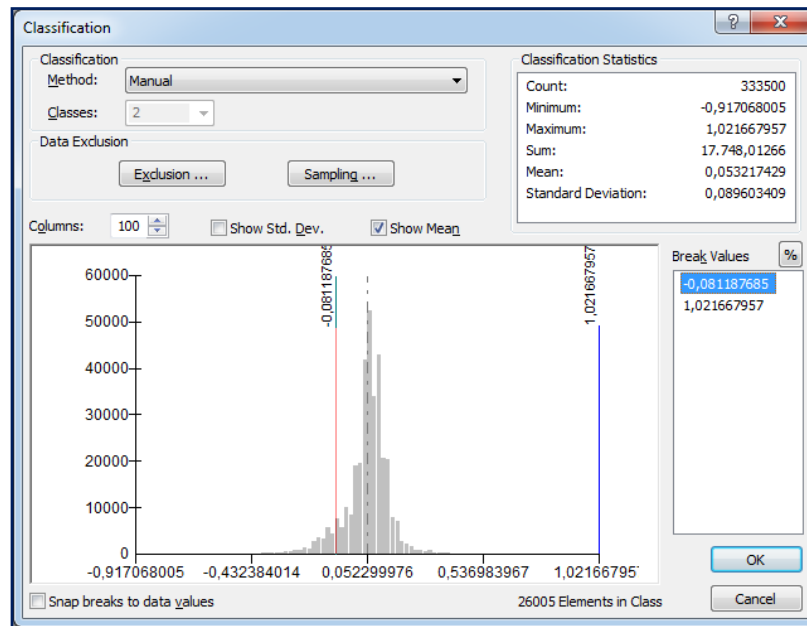


Figura A3.15 – Histograma do Talhão “2” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)



Figura A3.16 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “2”

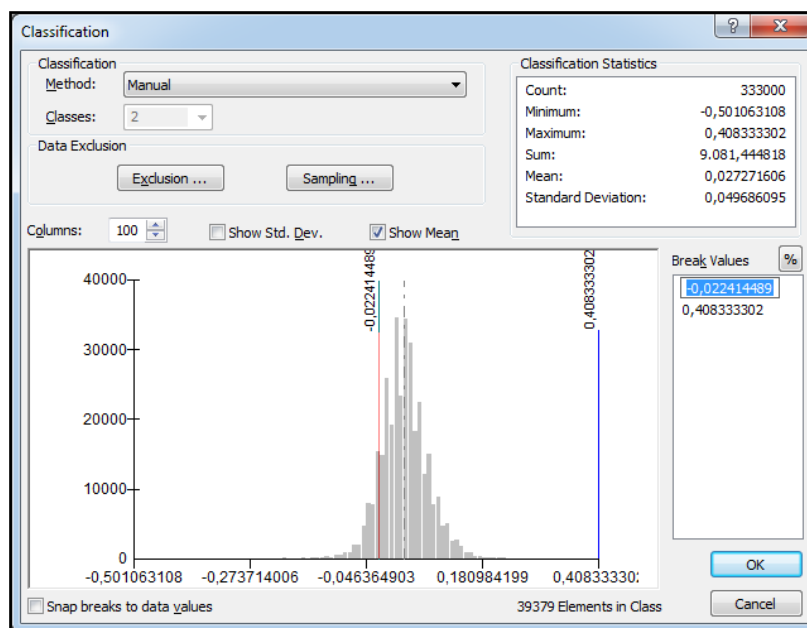


Figura A3.17 – Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1 \times \sigma$)

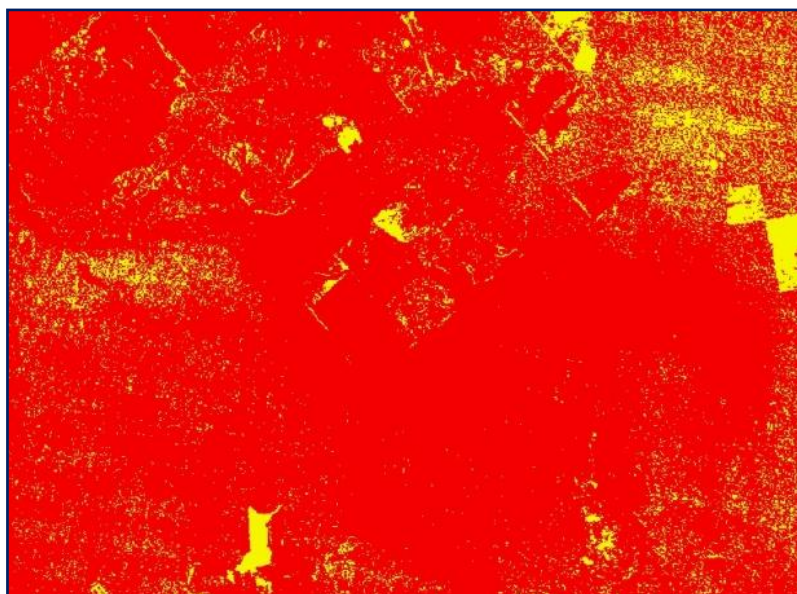


Figura A3.18 – Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “3”

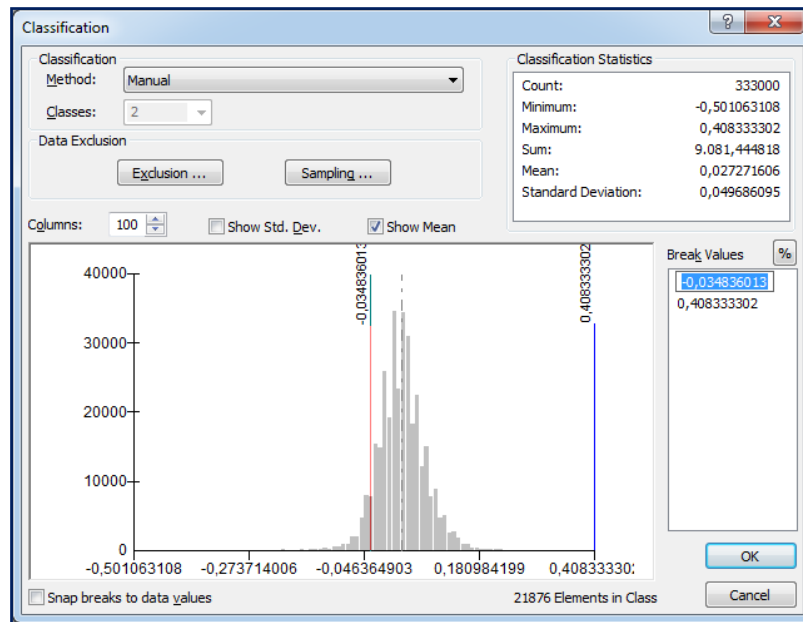


Figura A3.19 – Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)

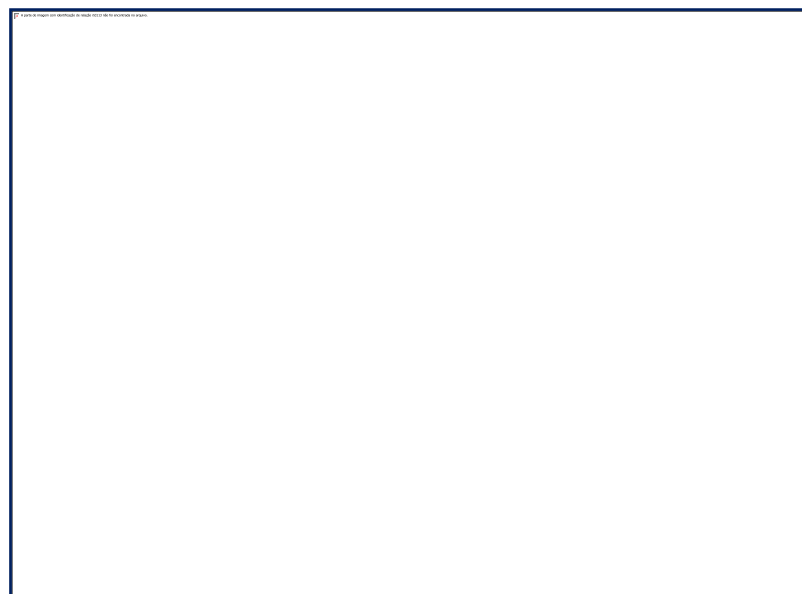


Figura A3.20 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “3”

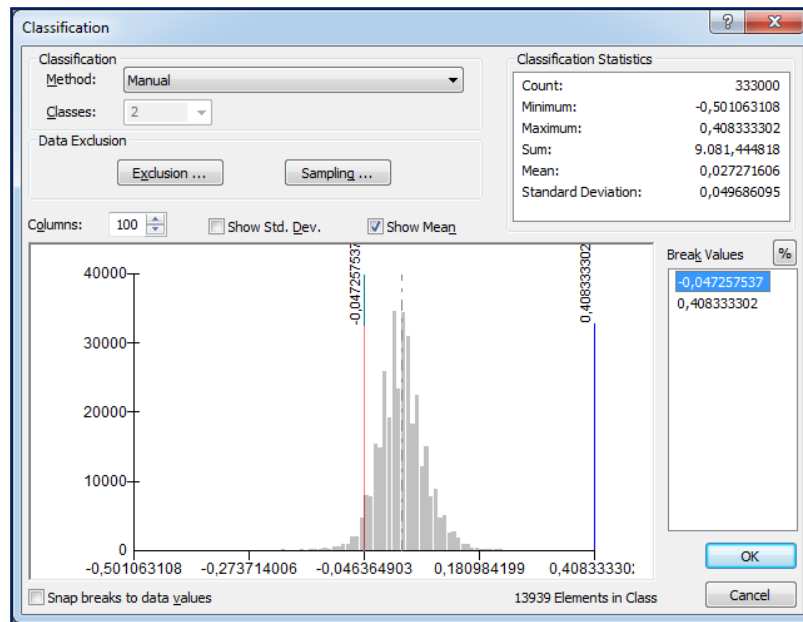


Figura A3.21 – Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)

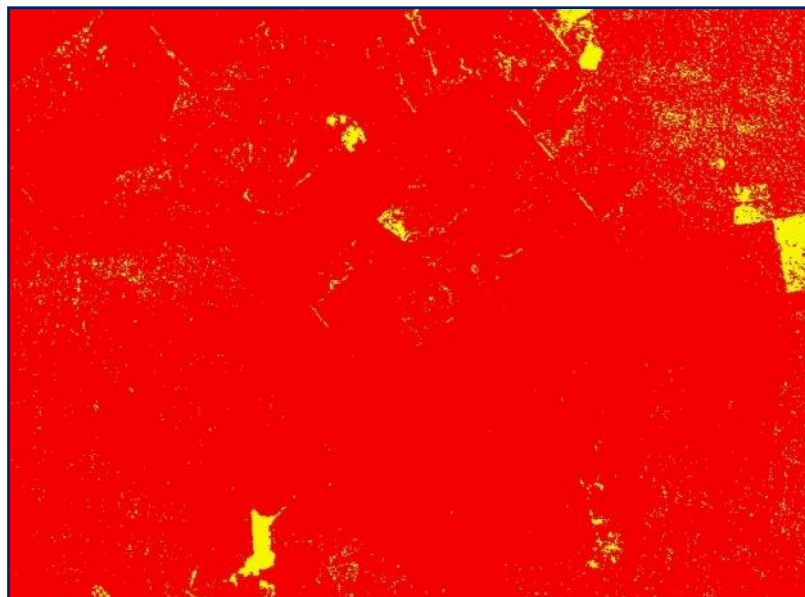


Figura A3.22 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “3”

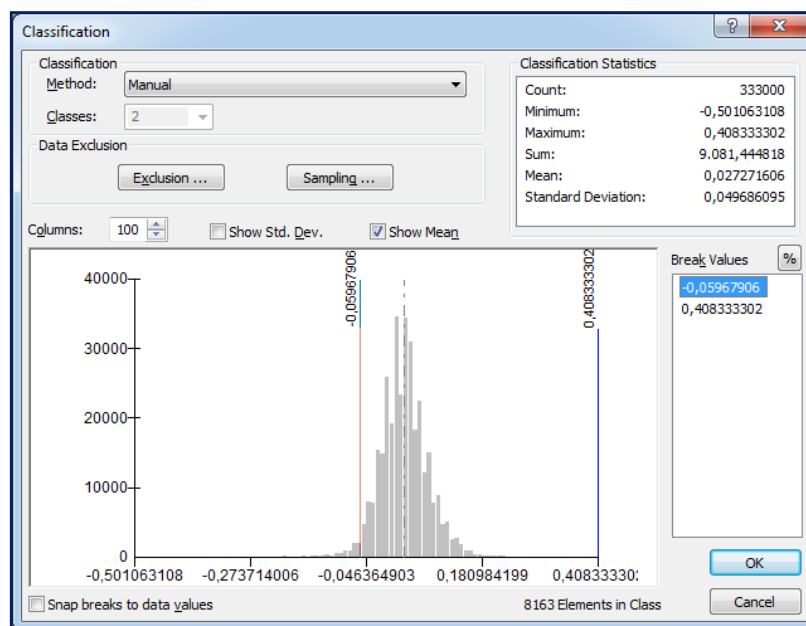


Figura A3.23 – Histograma do Talhão “3” ($\mu - 1,75 \times \sigma$)

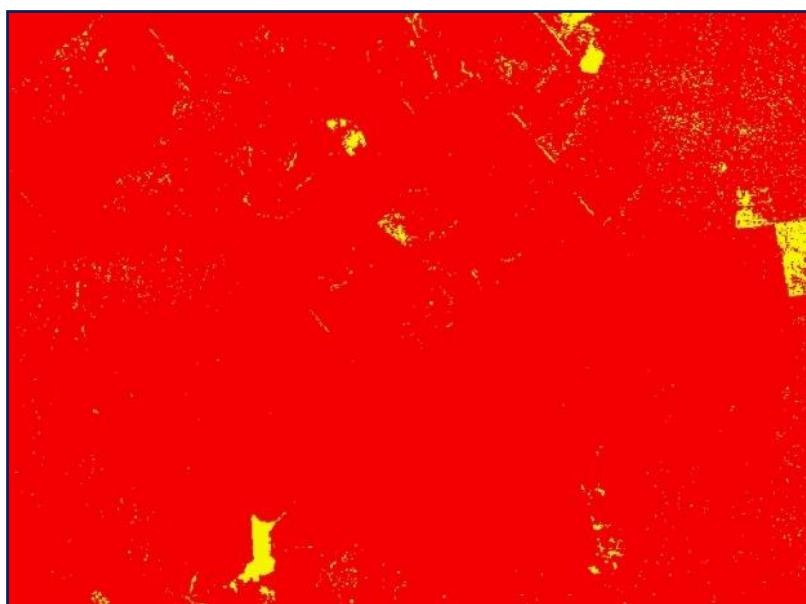


Figura A3.24 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,75 \times \sigma$ no Talhão “3”

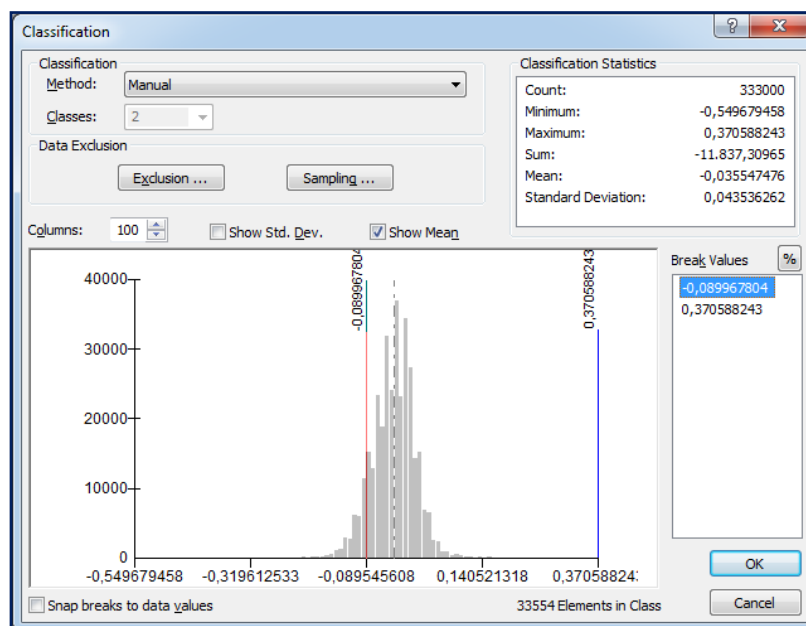


Figura A3.25 – Histograma do Talhão “4” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)

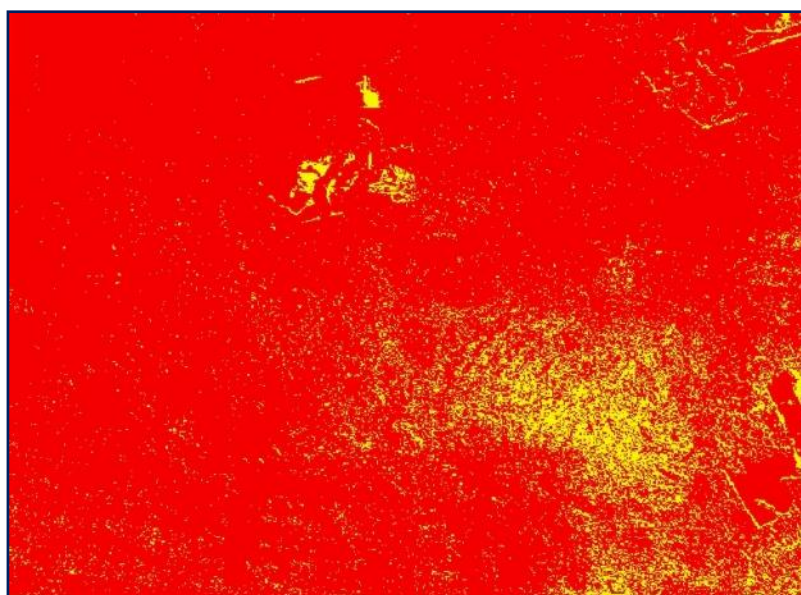


Figura A3.26 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “4”

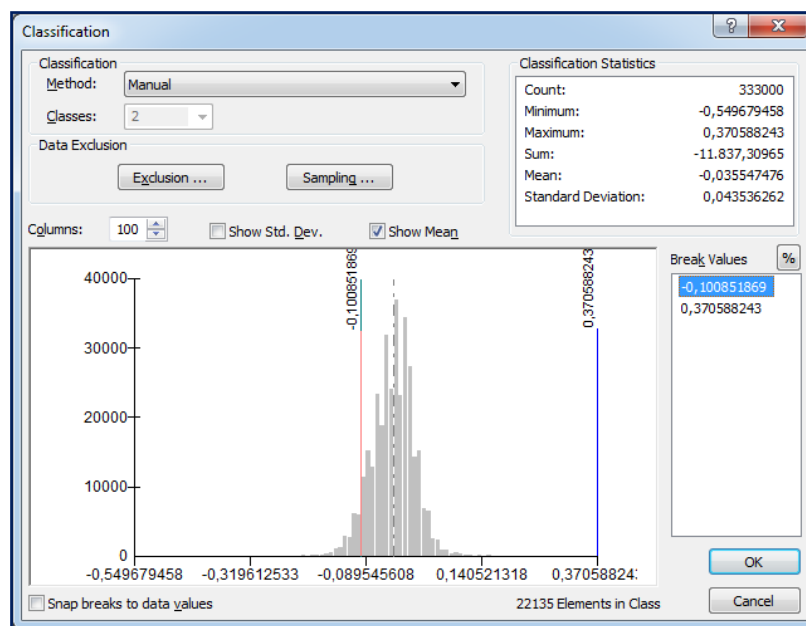


Figura A3.27 – Histograma do Talhão “4” ($\mu - 1,5 \times \sigma$)

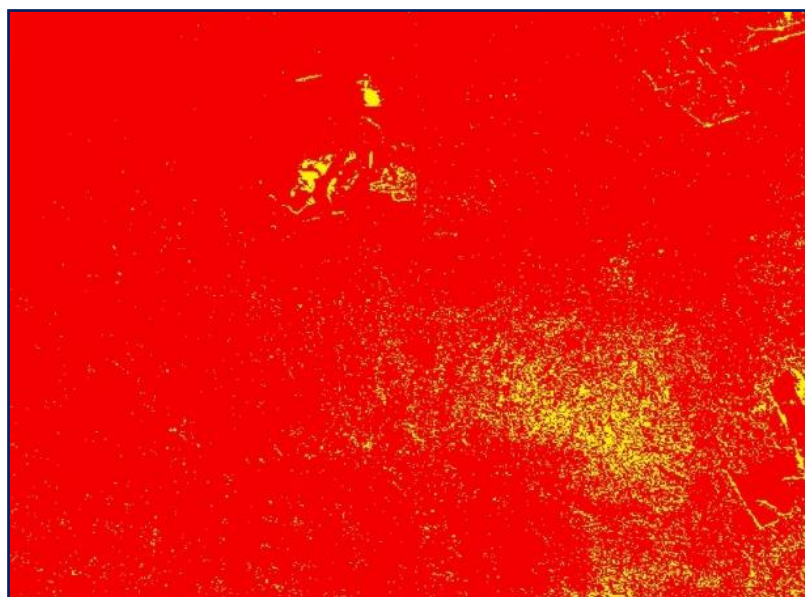


Figura A3.28 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,5 \times \sigma$ no Talhão “4”

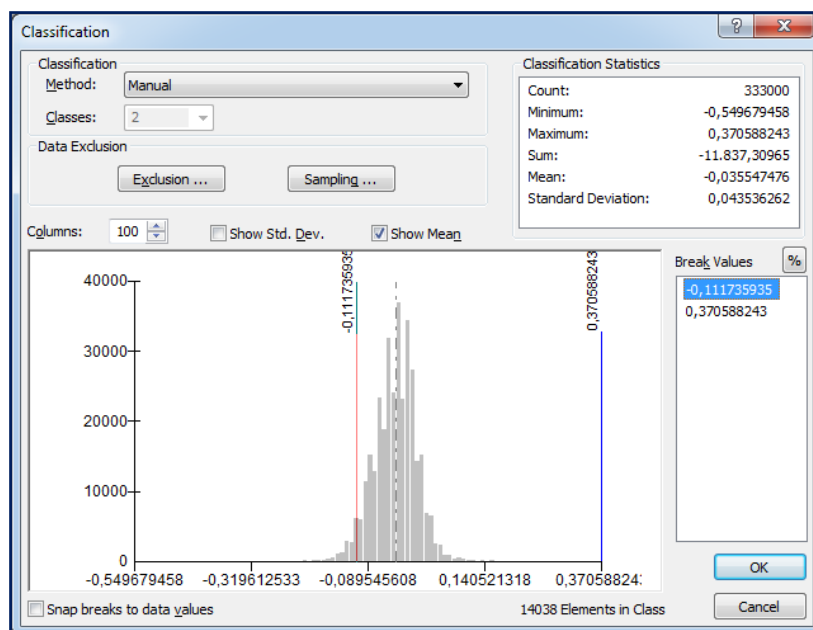


Figura A3.29 – Histograma do Talhão “4” ($\mu - 1,75 \times \sigma$)

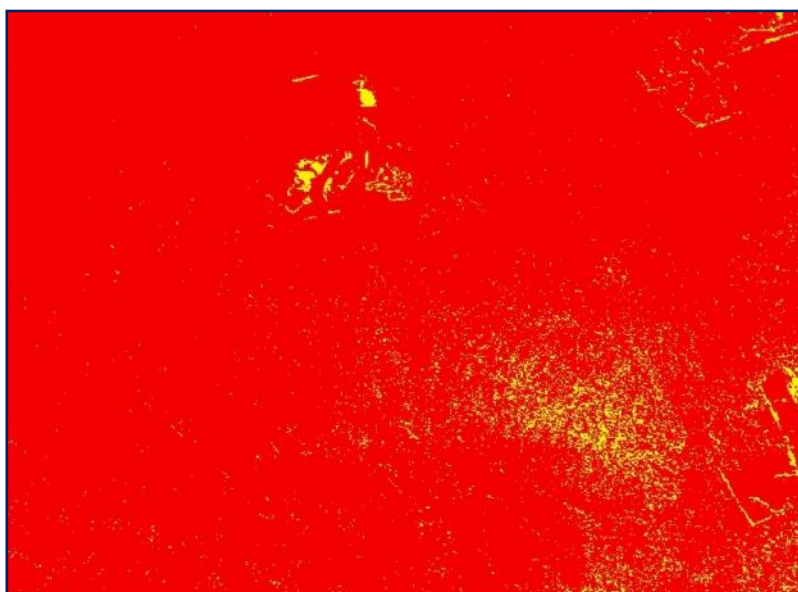


Figura A3.30 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,75 \times \sigma$ no Talhão “4”

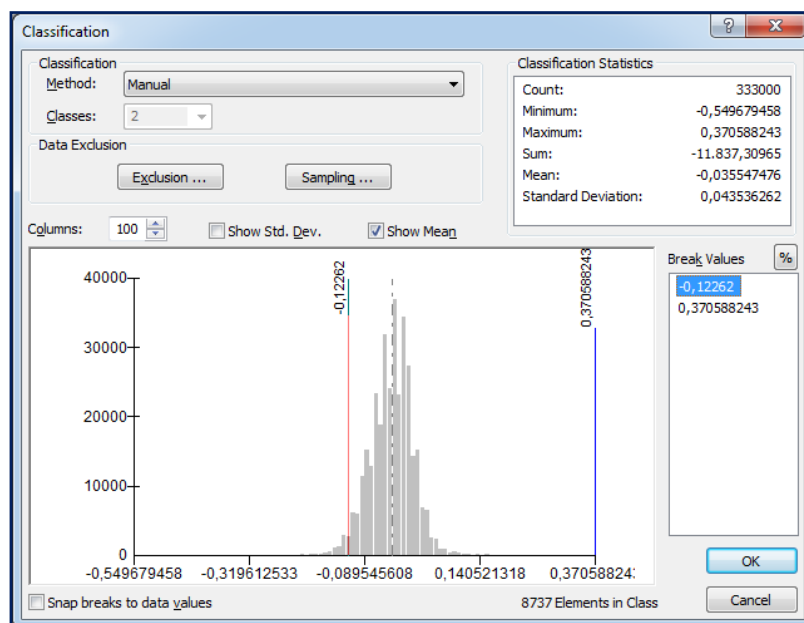


Figura A3.31 – Histograma do Talhão “4” ($\mu - 2 \times \sigma$)

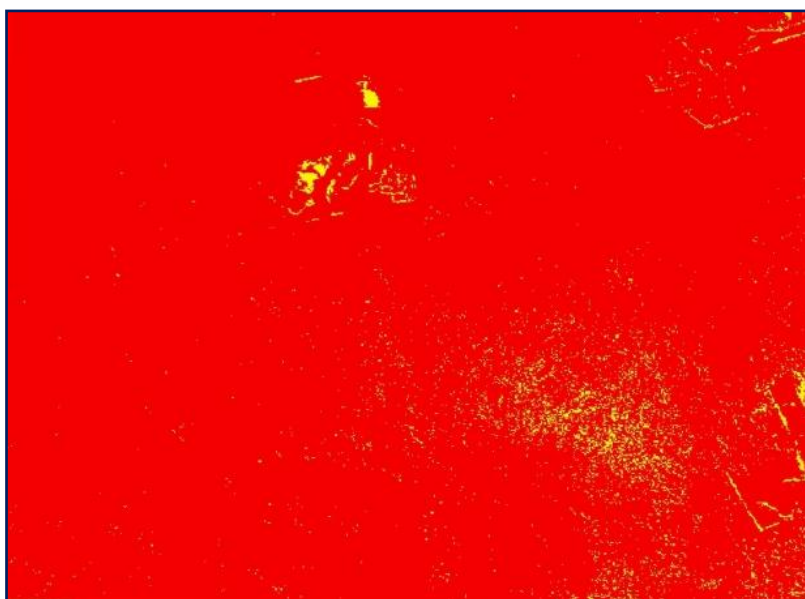


Figura A3.32 – Mapa temático gerado com $\mu - 2 \times \sigma$ no Talhão “4”

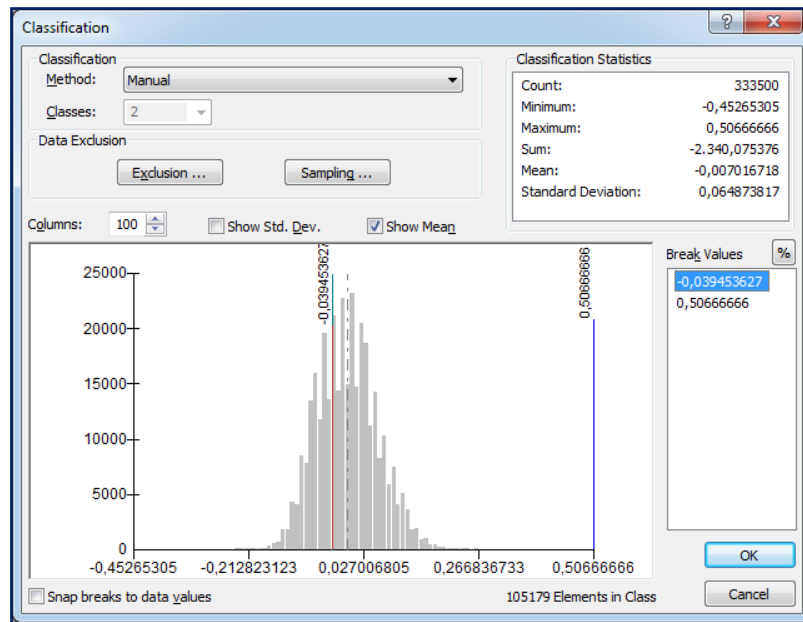


Figura A3.33 – Histograma do Talhão “5” ($\mu - 0,5 \times \sigma$)

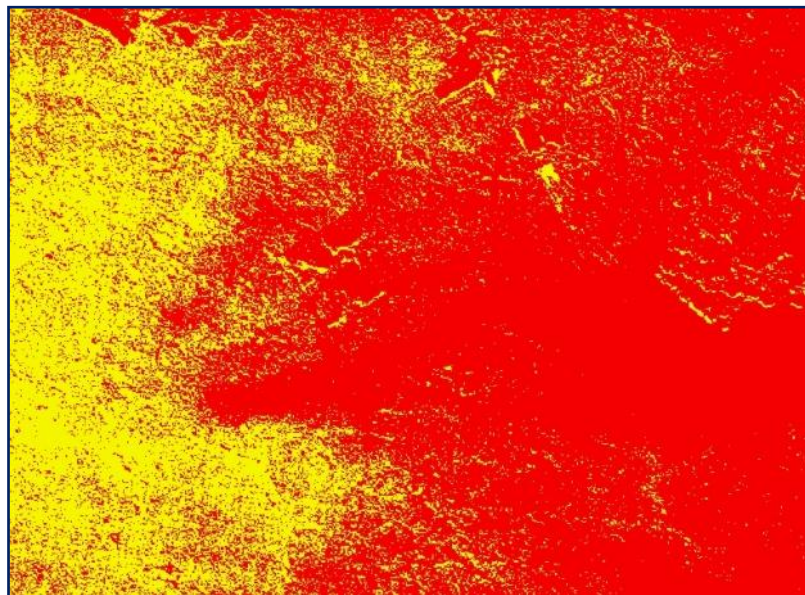


Figura A3.34 – Mapa temático gerado com $\mu - 0,5 \times \sigma$ no Talhão “5”

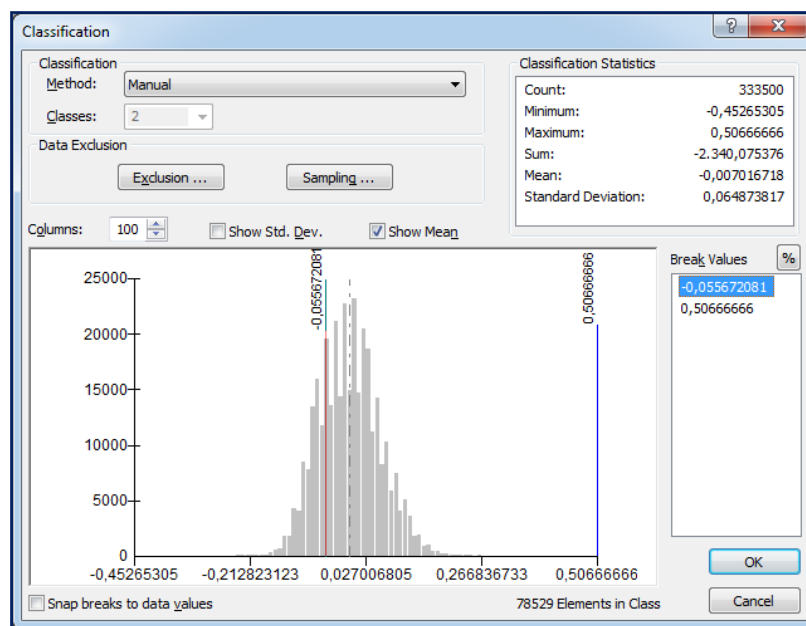


Figura A3.35 – Histograma do Talhão “5” ($\mu - 0,75 \times \sigma$)

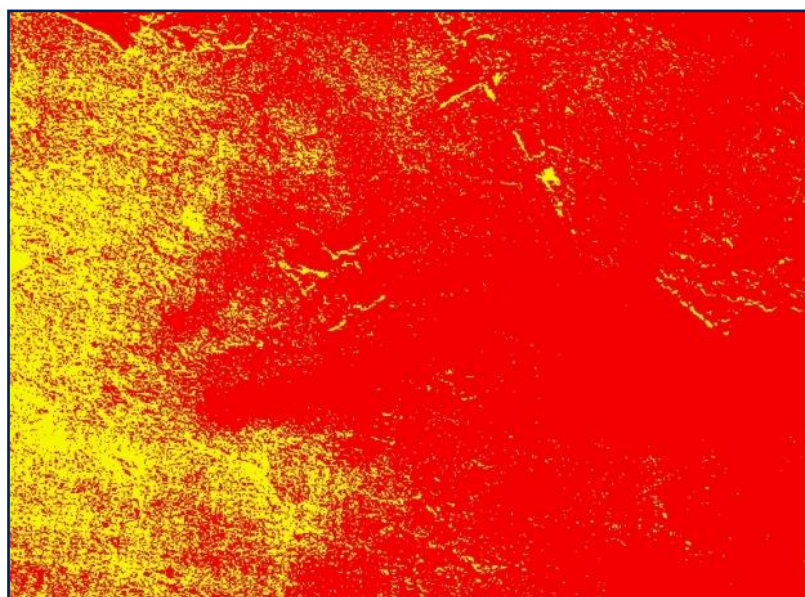


Figura A3.36 – Mapa temático gerado com $\mu - 0,75 \times \sigma$ no Talhão “5”

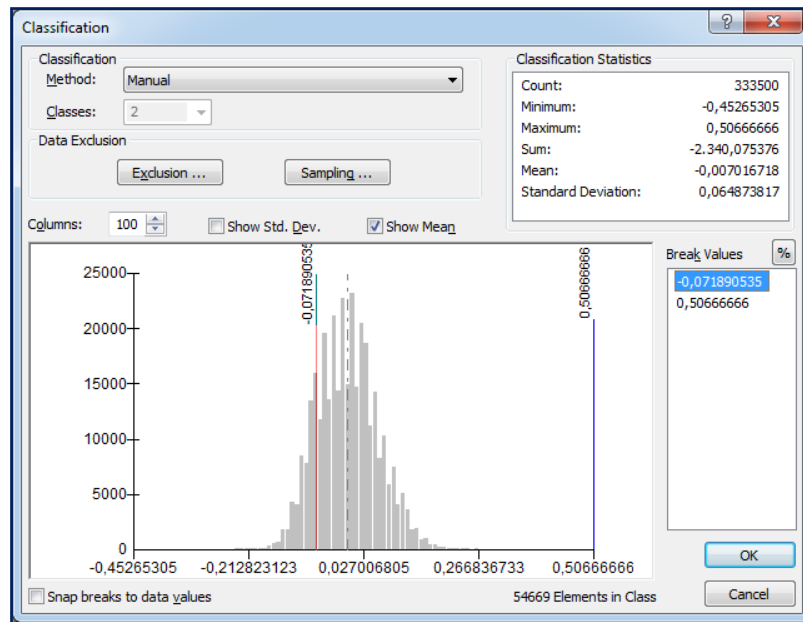


Figura A3.37 – Histograma do Talhão “5” ($\mu - 1 \times \sigma$)

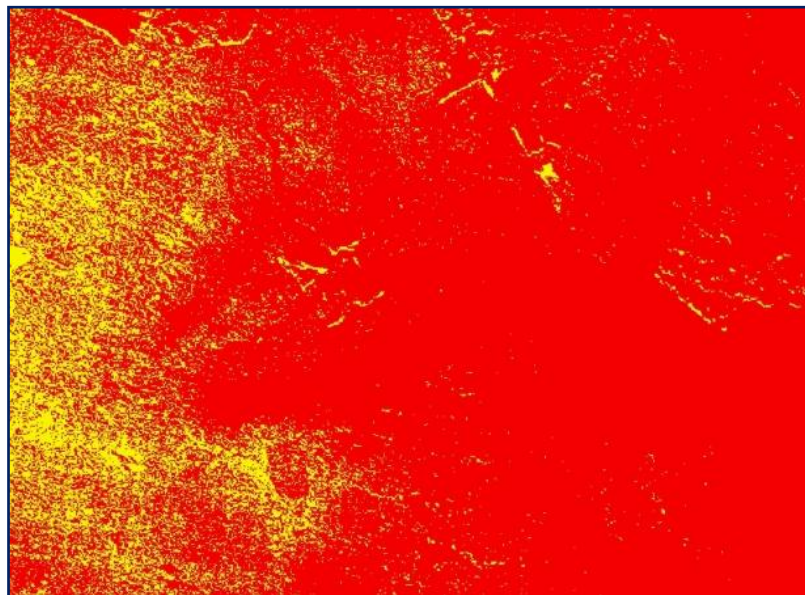


Figura A3.38 – Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “5”

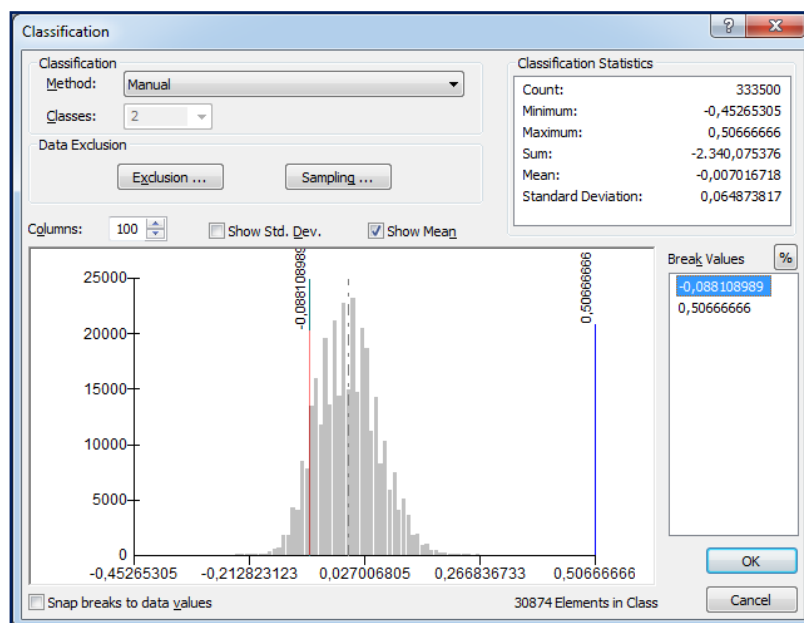


Figura A3.39 – Histograma do Talhão “5” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)

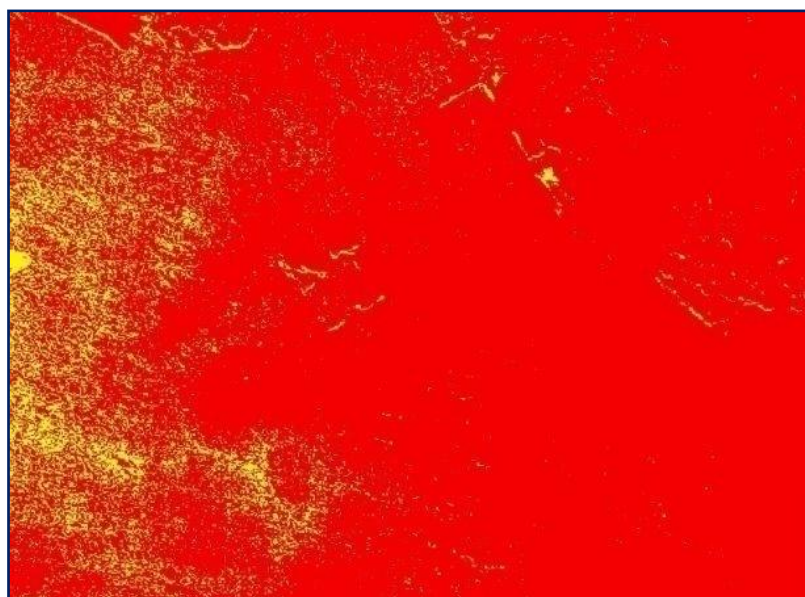


Figura A3.40 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “5”

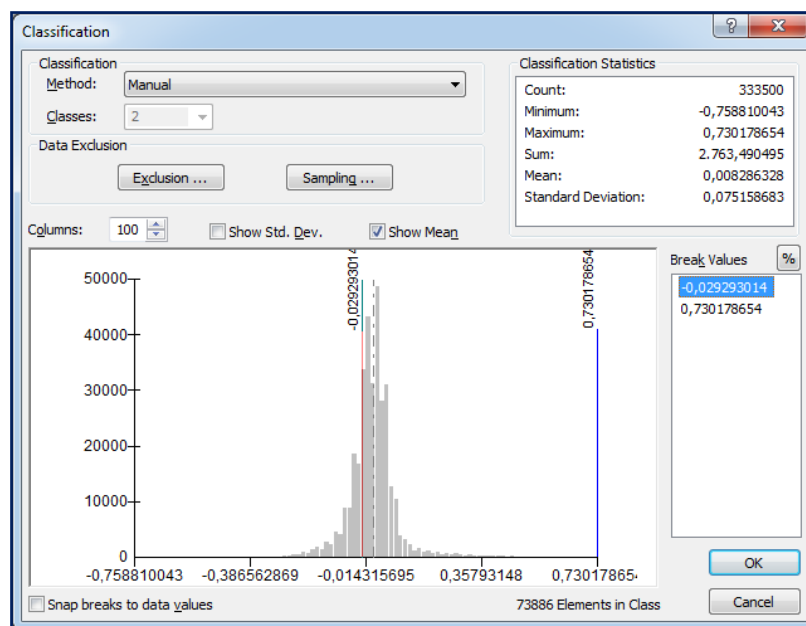


Figura A3.41 – Histograma do Talhão “6” ($\mu - 0,5 \times \sigma$)

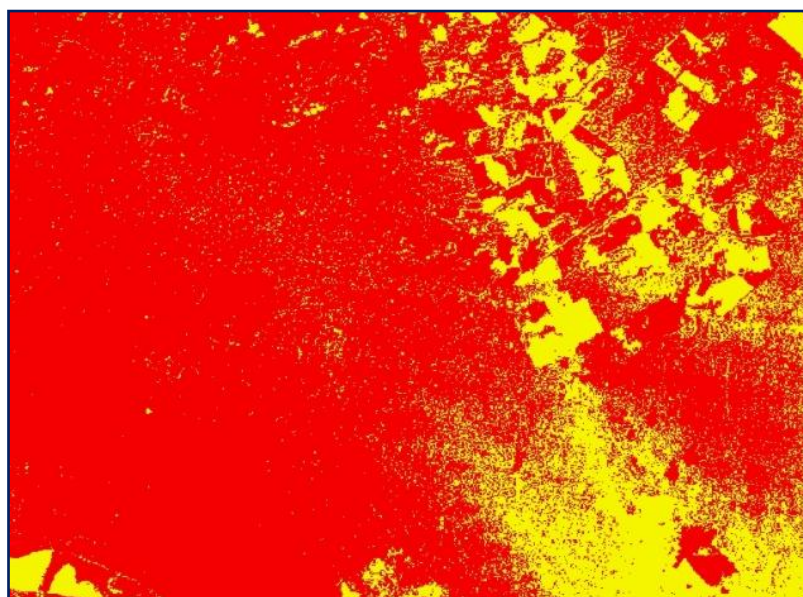


Figura A3.42 – Mapa temático gerado com $\mu - 0,5 \times \sigma$ no Talhão “6”

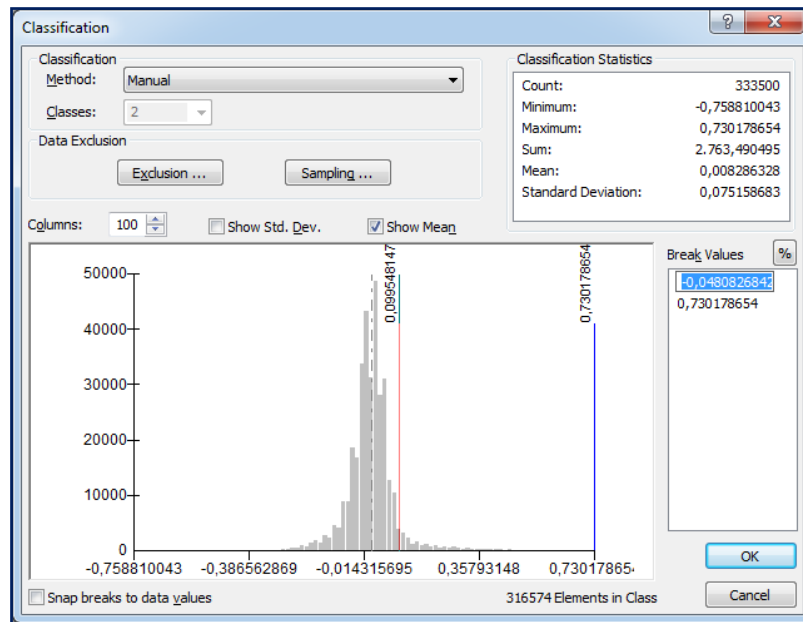


Figura A3.43 – Histograma do Talhão “6” ($\mu - 0,75 \times \sigma$)

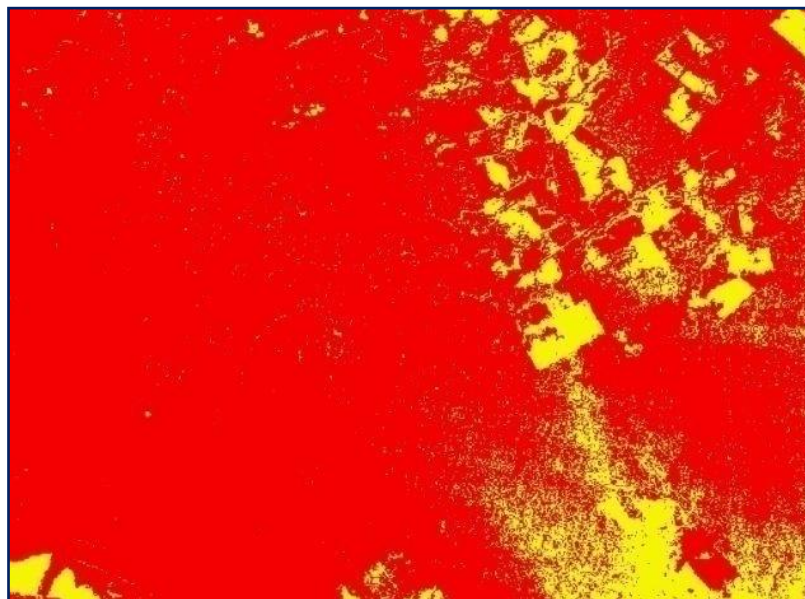


Figura A3.44 – Mapa temático gerado com $\mu - 0,75 \times \sigma$ no Talhão “6”

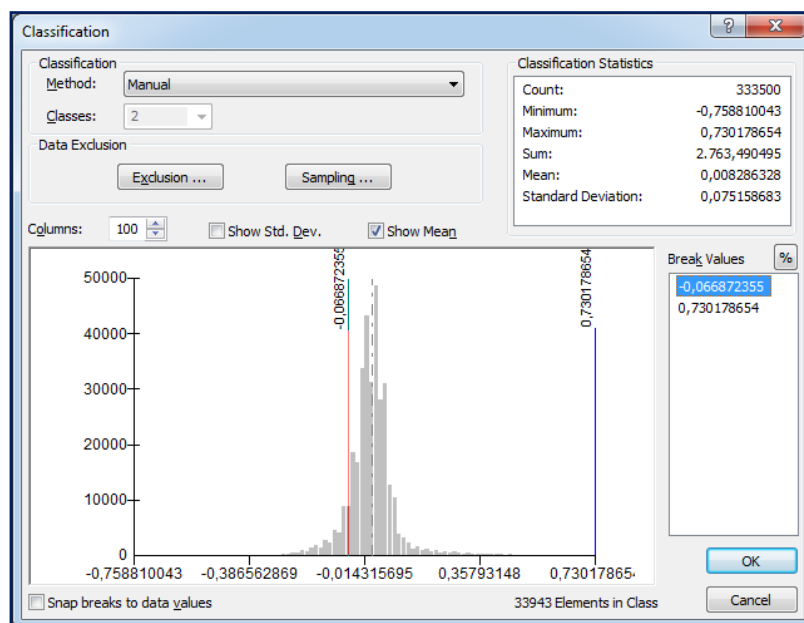


Figura A3.45 – Histograma do Talhão “6” ($\mu - 1 \times \sigma$)

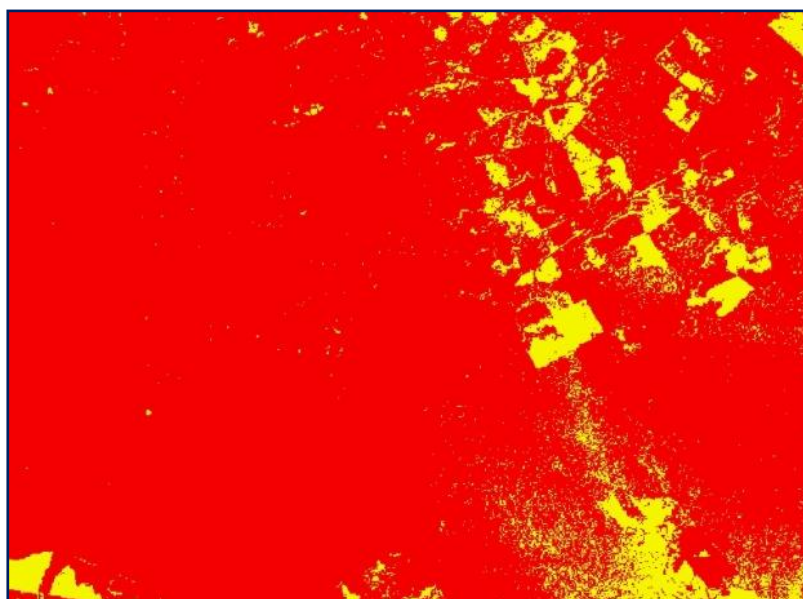


Figura A3.46 – Mapa temático gerado com $\mu - 1 \times \sigma$ no Talhão “6”

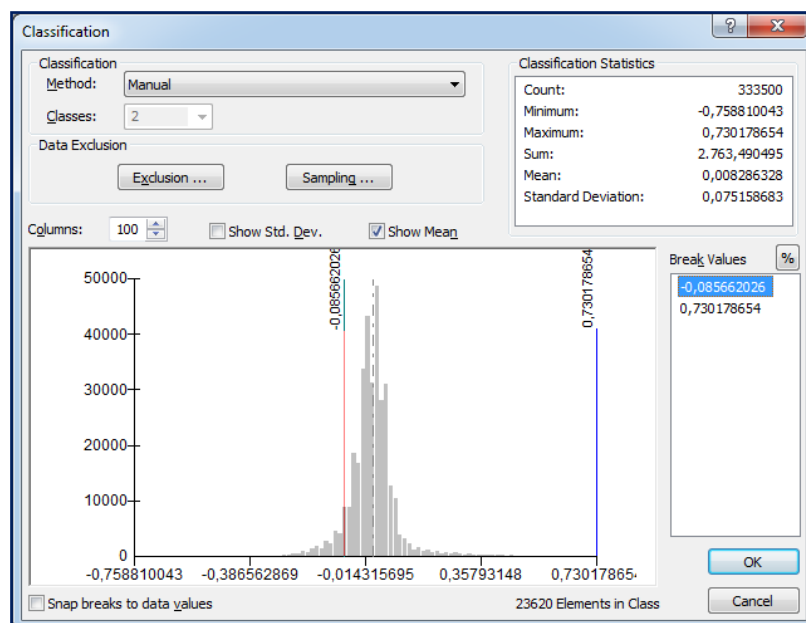


Figura A3.47 – Histograma do Talhão “6” ($\mu - 1,25 \times \sigma$)

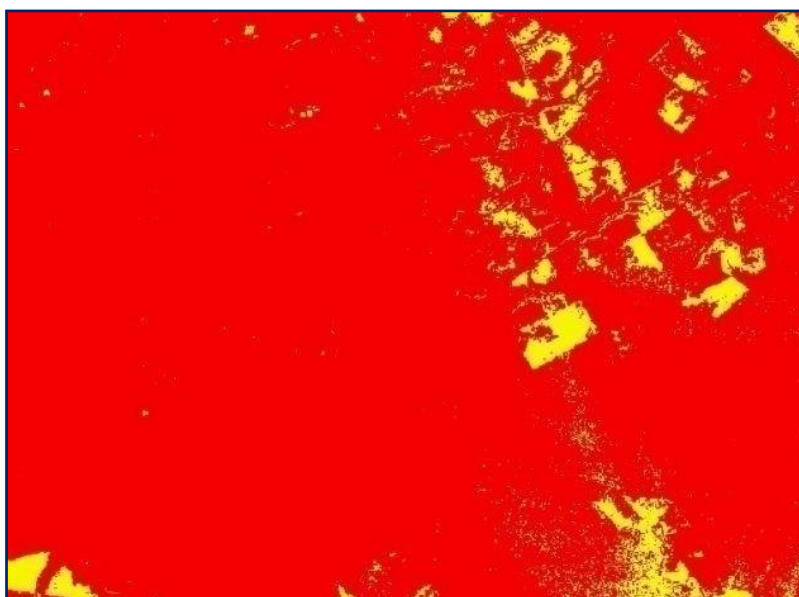


Figura A3.48 – Mapa temático gerado com $\mu - 1,25 \times \sigma$ no Talhão “6”

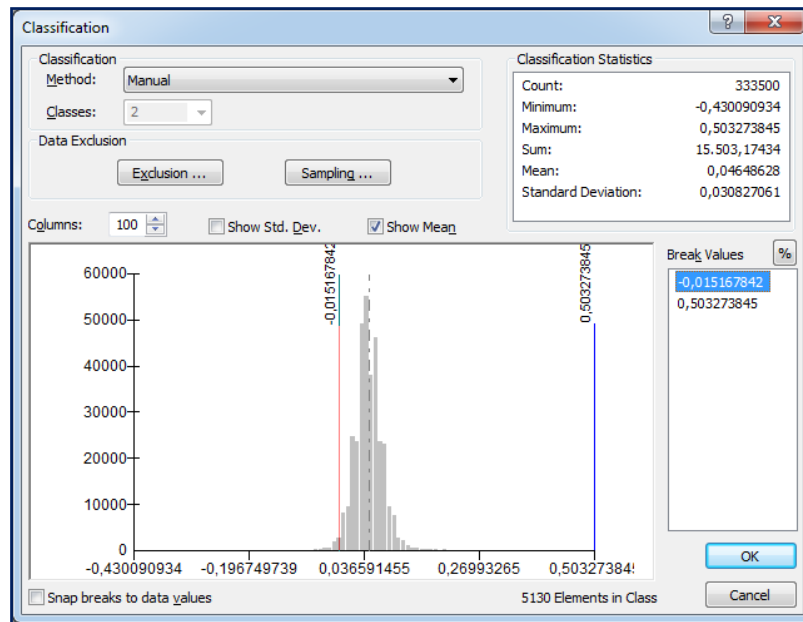


Figura A3.49 – Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2 \times \sigma$)

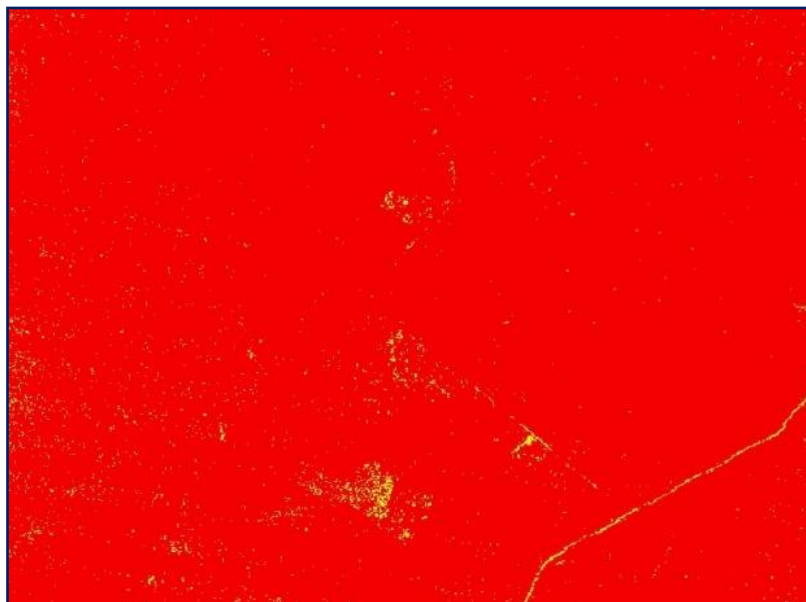


Figura A3.50 – Mapa temático gerado com $\mu - 2 \times \sigma$ no Talhão “7”

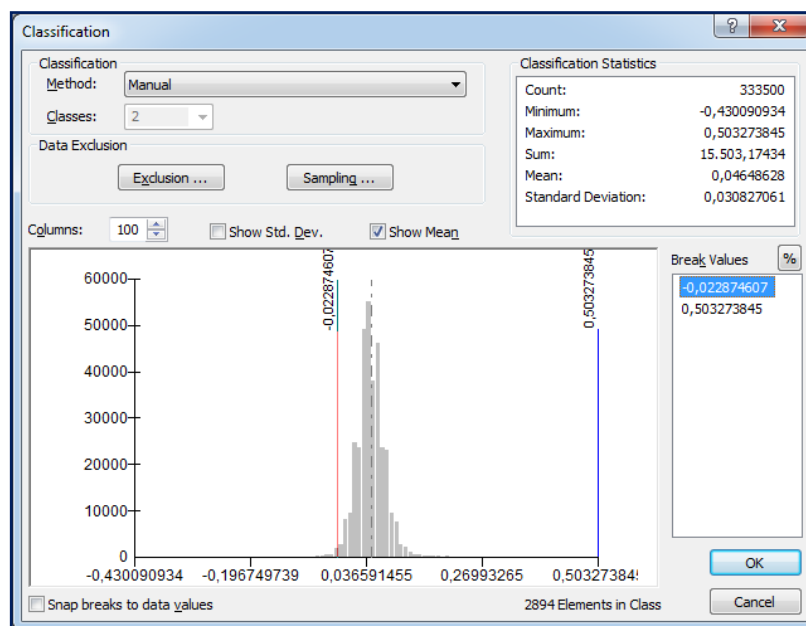


Figura A3.51 – Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2,25 \times \sigma$)



Figura A3.52 – Mapa temático gerado com $\mu - 2,25 \times \sigma$ no Talhão “7”

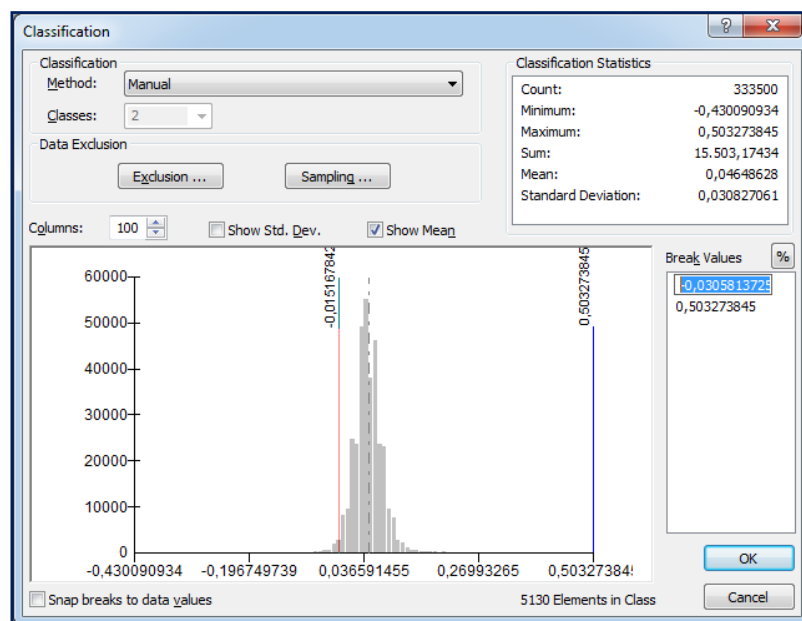


Figura A3.53 – Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2,5 \times \sigma$)

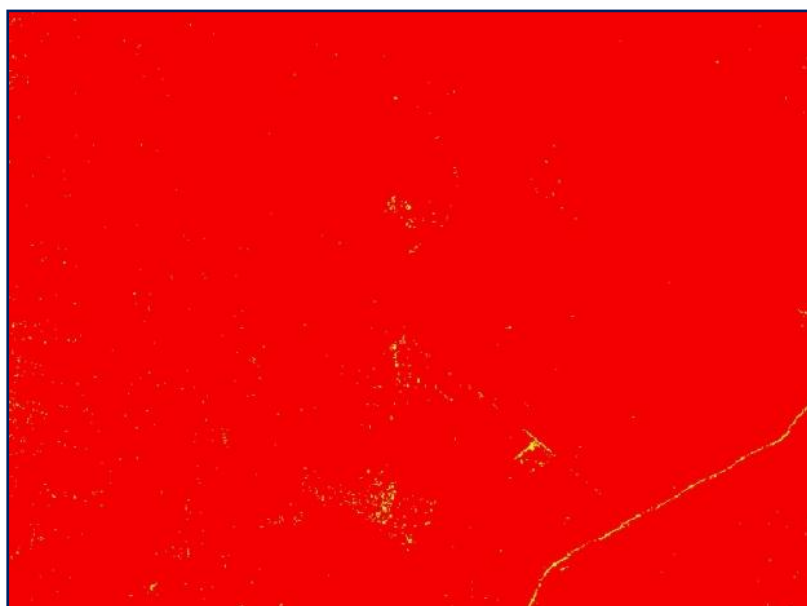


Figura A3.54 – Mapa temático gerado com $\mu - 2,5 \times \sigma$ no Talhão “7”

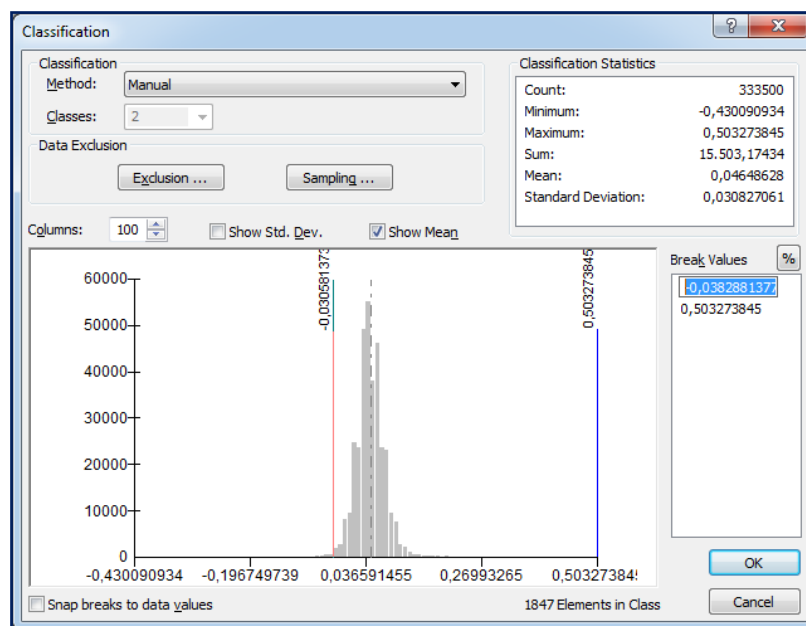


Figura A3.55 – Histograma do Talhão “7” ($\mu - 2,75 \times \sigma$)



Figura A3.56 – Mapa temático gerado com $\mu - 2,75 \times \sigma$ no Talhão “7”

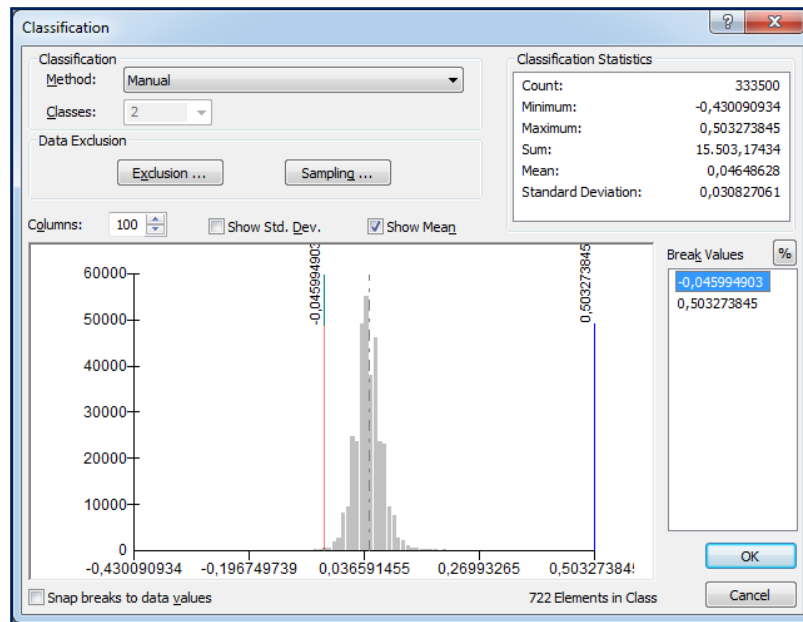


Figura A3.57 – Histograma do Talhão “7” ($\mu - 3 \times \sigma$)



Figura A3.58 – Mapa temático gerado com $\mu - 3 \times \sigma$ no Talhão “7”

Anexo 4. Reclassificação da Imagem Diferença NDVI

Após a obtenção do melhor limiar de alteração aplicado na Imagem Diferença NDVI de cada Talhão, o mapa temático resultante, que contém as

classes “Alterada” e “Inalterada” foi reclassificado, através da ferramenta “Reclassify”, da extensão “Spatial Analyst”, do ArcGis 10.0, com a finalidade de se armazenar os dados para utilização no programa Envi 4.5. Os mapas temáticos resultantes da reclassificação foram reproduzidos nas Figuras A4.1 a A4.7 a seguir.

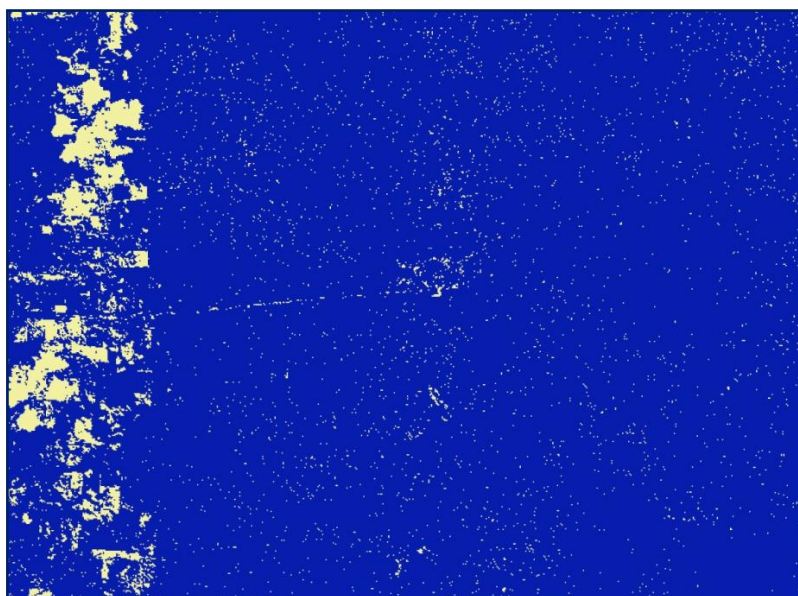


Figura A4.1 – Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “1” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1,25 \times \sigma$ (- 0,108963139)



Figura A4.2 – Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “2” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1 \times \sigma$ (- 0,03638598)

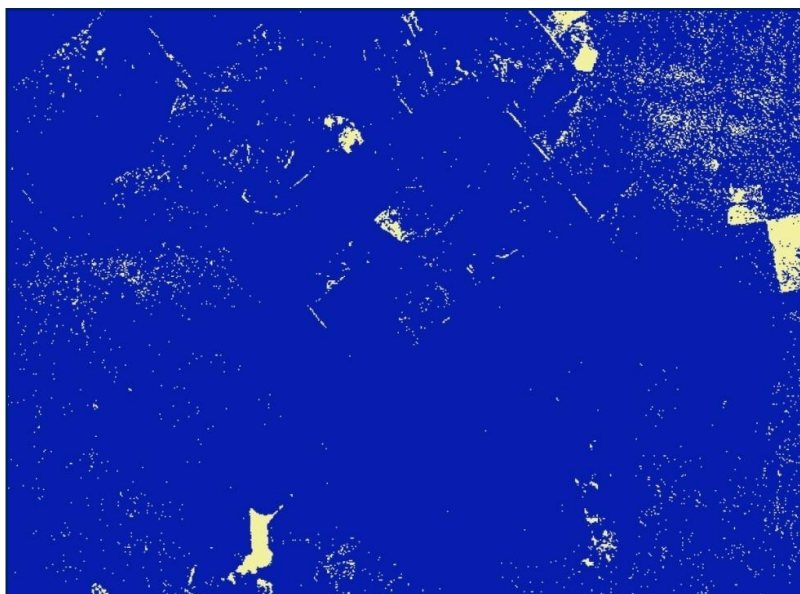


Figura A4.3 – Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “3” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1,5 \times \sigma$ (- 0,04725753650)

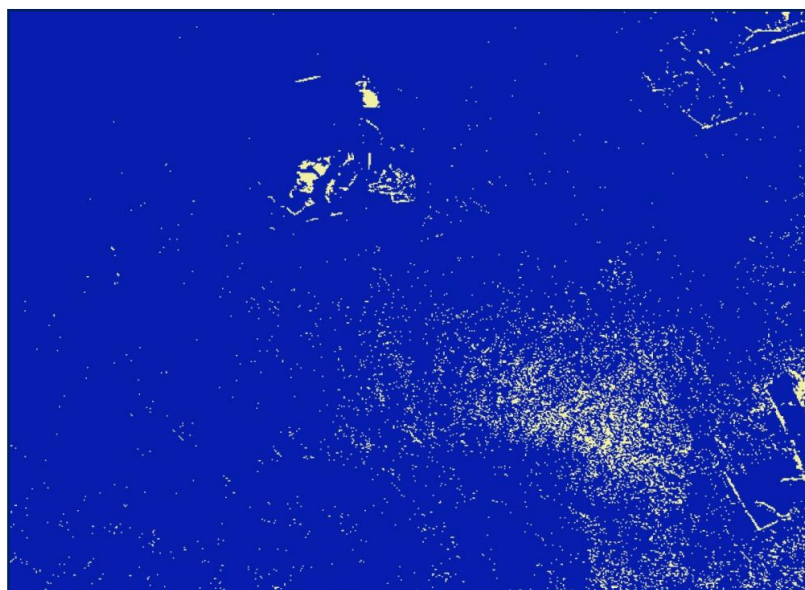


Figura A4.4 - Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “4” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1,75 \times \sigma$ (- 0,1117359345)

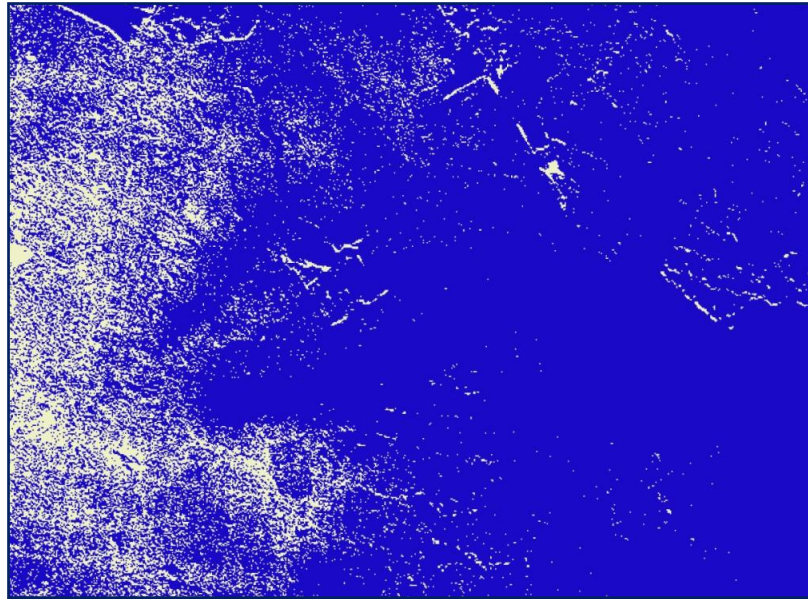


Figura A4.5 – Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “5” com limiar de alteração fixado em $\mu - 1 \times \sigma$ (- 0,07189053500)

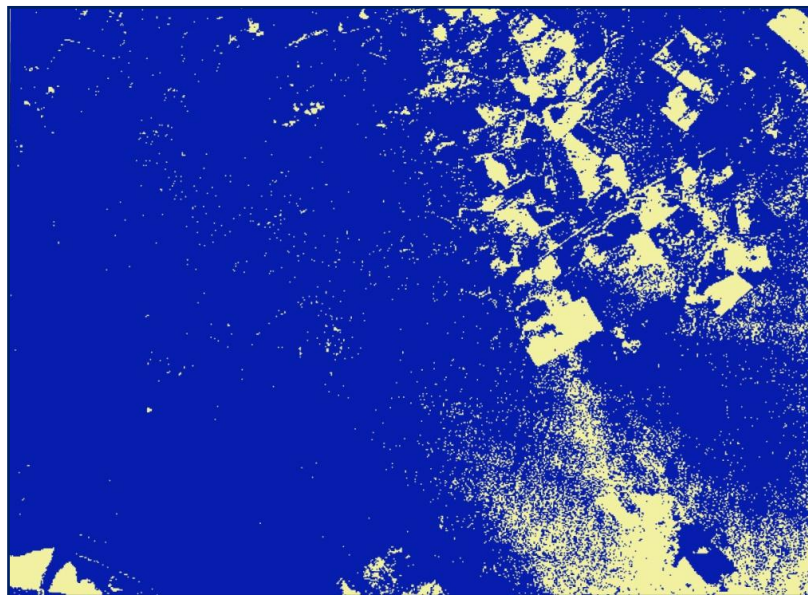


Figura A4.6 – Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “6” com limiar de alteração fixado em $\mu - 0,75 \times \sigma$ (- 0,04808268425)

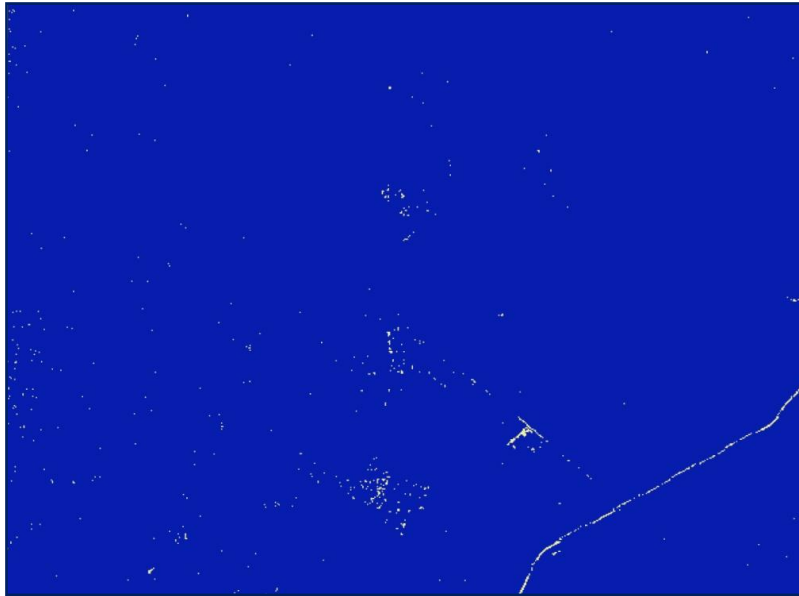


Figura A4.7 – Reclassificação da Imagem Diferença NDVI do Talhão “7” com limiar de alteração fixado em $\mu - 2,75 \times \sigma$ (- 0,03828813775)

Anexo 5. Matriz de Confusão dos Talhões

As Imagens Diferença NDVI reclassificadas de todos os Talhões foram classificadas no Envi 4.5 pelo método de classificação não supervisionada Isodata, de forma a manter as duas classes “Alterada” e “Inalterada”, de modo que o mapa temático não sofresse alteração. A Matriz de Confusão foi calculada a partir da intersecção dos resultados da classificação Isodata de cada Talhão de estudo com as áreas dos pontos de controle consideradas como verdade no terreno, que assim foram utilizadas para verificar o erro na classificação. Os resultados obtidos podem ser observados nas Figuras A5.1 a A5.7 a seguir.

Overall Accuracy = (13121/17899) 73.3058%				
Kappa Coefficient = 0.4537				
Class	Ground Truth (Pixels)		Total	
Unclassified	ALTERADA	INALTERADA		
	0	0	0	
Class 1	3818	0	3818	
Class 2	4778	9303	14081	
Total	8596	9303	17899	
Class	Ground Truth (Percent)		Total	
Unclassified	ALTERADA	INALTERADA		
	0.00	0.00	0.00	
Class 1	44.42	0.00	21.33	
Class 2	55.58	100.00	78.67	
Total	100.00	100.00	100.00	
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	55.58	0/3818	4778/8596
Class 2	33.93	0.00	4778/14081	0/9303
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	44.42	100.00	3818/8596	3818/3818
Class 2	100.00	66.07	9303/9303	9303/14081

Figura A5.1 – Matriz de Confusão - Talhão “1” com Índice Kappa de 45,37%

Overall Accuracy = (13324/14716) 90.5409%				
Kappa Coefficient = 0.7972				
Class	Ground Truth (Pixels)		Total	
Unclassified	ALTERADA	INALTERADA		
	0	0	0	
Class 1	4634	0	4634	
Class 2	1392	8690	10082	
Total	6026	8690	14716	
Class	Ground Truth (Percent)		Total	
Unclassified	ALTERADA	INALTERADA		
	0.00	0.00	0.00	
Class 1	76.90	0.00	31.49	
Class 2	23.10	100.00	68.51	
Total	100.00	100.00	100.00	
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	23.10	0/4634	1392/6026
Class 2	13.81	0.00	1392/10082	0/8690
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	76.90	100.00	4634/6026	4634/4634
Class 2	100.00	86.19	8690/8690	8690/10082

Figura A5.2 – Matriz de Confusão - Talhão “2” com Índice Kappa de 79,72%

Overall Accuracy = (26859/28007) 95.9010%				
Kappa Coefficient = 0.6102				
Class	Ground Truth (Pixels)		Total	
Unclassified	ALTERADA	INALTERADA		
	0	0	0	
Class 1	972	0	972	
Class 2	1148	25887	27035	
Total	2120	25887	28007	
Class	Ground Truth (Percent)		Total	
Unclassified	ALTERADA	INALTERADA		
	0.00	0.00	0.00	
Class 1	45.85	0.00	3.47	
Class 2	54.15	100.00	96.53	
Total	100.00	100.00	100.00	
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	54.15	0/972	1148/2120
Class 2	4.25	0.00	1148/27035	0/25887
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	45.85	100.00	972/2120	972/972
Class 2	100.00	95.75	25887/25887	25887/27035

Figura A5.3 – Matriz de Confusão - Talhão “3” com Índice Kappa de 61,02%

Overall Accuracy = (6154/7574) 81.2517%
Kappa Coefficient = 0.3041

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	ALTERADA	INALTERADA	
Unclassified	0	0	0
Class 1	409	0	409
Class 2	1420	5745	7165
Total	1829	5745	7574

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	ALTERADA	INALTERADA	
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Class 1	22.36	0.00	5.40
Class 2	77.64	100.00	94.60
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	77.64	0/409	1420/1829
Class 2	19.82	0.00	1420/7165	0/5745

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	22.36	100.00	409/1829	409/409
Class 2	100.00	80.18	5745/5745	5745/7165

Figura A5.4 – Matriz de Confusão - Talhão “4” com Índice Kappa de 30,41%

Overall Accuracy = (36366/39753) 91.4799%
Kappa Coefficient = 0.3662

Class	Ground Truth (Pixels)		Total
	ALTERADA	INALTERADA	
Unclassified	0	0	0
Class 1	1103	0	1103
Class 2	3387	35263	38650
Total	4490	35263	39753

Class	Ground Truth (Percent)		Total
	ALTERADA	INALTERADA	
Unclassified	0.00	0.00	0.00
Class 1	24.57	0.00	2.77
Class 2	75.43	100.00	97.23
Total	100.00	100.00	100.00

Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	75.43	0/1103	3387/4490
Class 2	8.76	0.00	3387/38650	0/35263

Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	24.57	100.00	1103/4490	1103/1103
Class 2	100.00	91.24	35263/35263	35263/38650

Figura A5.5 – Matriz de Confusão - Talhão “5” com Índice Kappa de 36,62%

Overall Accuracy = (25555/30284) 84.3845%				
Kappa Coefficient = 0.5592				
Ground Truth (Pixels)				
Class	ALTERADA	INALTERADA	Total	
Unclassified	0	0	0	
Class 1	4267	0	4267	
Class 2	4729	21288	26017	
Total	8996	21288	30284	
Ground Truth (Percent)				
Class	ALTERADA	INALTERADA	Total	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	
Class 1	47.43	0.00	14.09	
Class 2	52.57	100.00	85.91	
Total	100.00	100.00	100.00	
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	52.57	0/4267	4267/4267
Class 2	18.18	0.00	4729/26017	0/21288
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	47.43	100.00	4267/8996	4267/4267
Class 2	100.00	81.82	21288/21288	21288/26017

Figura A5.6 – Matriz de Confusão - Talhão “6” com Índice Kappa de 55,92%

Overall Accuracy = (25747/28216) 91.2496%				
Kappa Coefficient = 0.2802				
Ground Truth (Pixels)				
Class	ALTERADA	INALTERADA	Total	
Unclassified	0	0	0	
Class 1	538	0	538	
Class 2	2469	25209	27678	
Total	3007	25209	28216	
Ground Truth (Percent)				
Class	ALTERADA	INALTERADA	Total	
Unclassified	0.00	0.00	0.00	
Class 1	17.89	0.00	1.91	
Class 2	82.11	100.00	98.09	
Total	100.00	100.00	100.00	
Class	Commission (Percent)	Omission (Percent)	Commission (Pixels)	Omission (Pixels)
Class 1	0.00	82.11	0/538	2469/3007
Class 2	8.92	0.00	2469/27678	0/25209
Class	Prod. Acc. (Percent)	User Acc. (Percent)	Prod. Acc. (Pixels)	User Acc. (Pixels)
Class 1	17.89	100.00	538/3007	538/538
Class 2	100.00	91.08	25209/25209	25209/27678

Figura A5.7 – Matriz de Confusão - Talhão “7” com Índice Kappa de 28,02%

**C&
SIG**



